

revista brasileira de  
**ENERGIA**



Sociedade Brasileira de  
Planejamento Energético

Volume 27, Nº 1, 1º Trimestre de 2021

**Diagramação**

Kelly Fernanda dos Reis

**Revisão**

Arnaldo Walter e Kelly Fernanda dos Reis

**Revista Brasileira de Energia  
Vol. 27 - nº 1**

Itajubá, 2021 - SBPE

Editor: Arnaldo Walter  
156 p.

1 - Energia - artigos

2 - Publicação científica

ISSN: 2317-6652

É permitida a reprodução parcial ou total da obra, desde que citada a fonte.

revista brasileira de  
**ENERGIA**

A Revista Brasileira de Energia tem como missão:

“Divulgar trabalhos acadêmicos, estudos técnicos e resultados de pesquisas relacionadas ao planejamento energético do país e das suas relações regionais e internacionais.”

**Editor Responsável**

Arnaldo Walter

**Comitê Editorial**

Alexandre Salem Szklo

Annemarlen Gehrke Castagna

Edmilson Moutinho dos Santos

Helder Queiroz Pinto Junior

Joaquim Seabra

Kamyla Borges da Cunha

Luiz Augusto Horta Nogueira

Sergio Valdir Bajay

A Revista Brasileira de Energia (RBE) é uma publicação da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE), editada trimestralmente.

### **Diretoria da SBPE**

Presidente: Edson da Costa Bortoni

Vice-Presidente: Rubem César Rodrigues Souza

Diretora de Eventos: Juliana Klas

Diretor de Publicações: Arnaldo Walter

Diretor Administrativo: Paula Meyer Soares

### **Conselho Fiscal**

Eduardo Mirko Valenzuela Tundera

Ivo Leandro Dorileo

Jamil Haddad

### **Conselho Consultivo**

Afonso Henriques Moreira Santos

Célio Bermann

Edmilson Moutinho dos Santos

Ivan Marques de Toledo Camargo

Jamil Haddad

José Roberto Moreira

Luiz Pinguelli Rosa

Maurício Tiommo Tolmasquim

Oswaldo Lívio Soliano Pereira

Sergio Valdir Bajay

### **Secretaria Executiva da SBPE**

Kelly Fernanda dos Reis e Lúcia Garrido Rios

Endereço: Av. BPS, 1303 – Pinheirinho

Itajubá – MG – CEP:37.500-903

E-mail: [exec@sbpe.org.br](mailto:exec@sbpe.org.br)

Os artigos podem ser enviados por meio do site da SBPE

**[www.sbpe.org.br](http://www.sbpe.org.br)**

## EDITORIAL

A Revista Brasileira de Energia (RBE) é publicada pela Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE) desde 1989 mas, infelizmente, até o momento não foi possível alcançar a desejada regularidade em suas publicações. A RBE é o único periódico científico nacional na área da energia e, se não houvesse outra razão, essa já seria mais do que suficiente para o empenho da SBPE no ajuste de procedimentos visando melhores resultados. A RBE é publicada eletronicamente e é *open access*, o que amplia o potencial de divulgação das contribuições.

Efetivamente, nos últimos anos tem havido esforço para que haja maior regularidade, e foi definido o objetivo de se ter ao menos quatro edições anuais. Resultados positivos foram alcançados e metas mais ambiciosas serão buscadas. Um dos objetivos de curto prazo é que a RBE esteja indexada em plataformas bibliográficas e, para tanto, é necessário que se tenha tanto regularidade quanto maior número de artigos publicados a cada ano. O ciclo positivo que se almeja requer maior agilidade na revisão das submissões e melhor divulgação, e o Comitê Editorial está trabalhando para tanto.

Resultado dos esforços recentes, a plataforma eletrônica *Open Journal Systems* – OJS tem sido utilizada desde 2019, o que permitiu maior agilidade e maior transparência nos fluxos. Também desde 2019, todos os artigos publicados são identificados pelo DOI (*Digital Object Identifier*) individual.

Este é o primeiro número que é publicado estando eu como Editor Responsável da RBE, posição que foi assumida no final de 2020. Com o esforço de eliminarmos algumas pendências, em conjunto com o objetivo da já mencionada regularidade, neste número estão sendo publicados seis artigos.

O trabalho de João Victor Machado e Ernani de Almeida Silva Júnior, analisa os impactos socioeconômicos da distribuição dos royalties associados à produção de petróleo em municípios do estado do Rio de Janeiro. Os autores utilizaram procedimentos econométricos baseados em Dados em Painel, e trouxeram o escopo temporal para o período mais recente possível.

Já Gustavo Alves Soares e coautores tratam dos desafios regulatórios e políticos associados aos combustíveis sustentáveis de aviação (os chamados SAF, da sigla em Inglês), que têm sido empregados em substituição parcial aos combustíveis convencionais, derivados de petróleo, visando a redução das emissões de gases de efeito estufa. A avaliação dos autores é feita com foco no contexto brasileiro.

O artigo de autoria de Rafael Deléo Oliveira trata dos efeitos da compensação da operação conjunta de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e geradores solares fotovoltaicos. As complementariedades podem ser positivas ou negativas, e as condições em que essas ocorrem são analisadas, a partir de simulações. O estudo de caso considera uma instalação no estado de São Paulo, mas os resultados podem ser generalizados.

Marlon Salazar apresenta resultados de um estudo do consumo de energia industrial, no Brasil, no período 1975-2019, que é baseado no método da decomposição de índices. O método permitiu a identificação dos efeitos atividade, estrutura e intensidade. As tendências ao longo do período são analisadas.

Por sua vez, a contribuição de Edson Ramos de Medeiros e coautores está associada à análise dos impactos das variações dos preços internacionais do petróleo em variáveis macroeconômicas da economia brasileira, com foco no período 2002 a 2015. A análise é feita com emprego de modelos VECM (vetores autorregressivos cointegrados).

Por último, mas não menos importante, o artigo de Annelys Machado Schetinger e Pedro Vardiero Corrêa trata dos impactos da pandemia associada ao COVID-19 nos investimentos em fontes renováveis de energia e as ações de vários países para minimização dos efeitos negativos. Os autores também tratam, comparativamente, o posicionamento no Brasil.

Desejo boa leitura a todos.

**Arnaldo Walter**

Editor Responsável da Revista Brasileira de Energia

# SUMÁRIO

**ANÁLISE SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DAS RENDAS DO PETRÓLEO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO DOS MUNICÍPIOS DO RIO DE JANEIRO.....08**

João Victor Machado, Ernani de Almeida Silva Junior

**ARCABOUÇO REGULATÓRIO E DIRETRIZES DE POLÍTICAS: OS DESAFIOS PARA A REGULAMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO DROP-IN.....40**

Gustavo Alves Soares, Helder Queiroz Pinto Jr, José Vitor Bomtempo Martins

**AVALIAÇÃO DA COMPENSAÇÃO MÚTUA DE GERAÇÃO ENTRE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA E UM GERADOR FOTOVOLTAICO....58**

Rafael Deléo Oliveira

**DECOMPOSIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA BRASILEIRA: EFEITOS DO AUMENTO DE ATIVIDADE ENTRE 1970 - 2019.....81**

Marlon Salazar

**IMPACTOS DOS CHOQUES DO PETRÓLEO SOBRE A ECONOMIA BRASILEIRA (2002 - 2015).....105**

Edson Ramos de Medeiros, Júlio Vicente Cateia, Marcos Minoru Hasegawa

**PANORAMA MUNDIAL DO SETOR DE ENERGIAS RENOVÁVEIS - MEDIDAS E AÇÕES PARA COMBATE AOS EFEITOS DA COVID-19.....132**

Annelys Machado Schetinger, Pedro Vardiero Corrêa

## **ANÁLISE SOBRE A DISTRIBUIÇÃO DAS RENDAS DO PETRÓLEO E SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO DOS MUNICÍPIOS DO RIO DE JANEIRO**

João Victor Machado<sup>1</sup>  
Ernani de Almeida Silva Junior<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Estadual de Campinas*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Mato Grosso do Sul*

DOI: 10.47168/rbe.v27i1.398

### **RESUMO**

A pesquisa retoma a questão sobre a distribuição dos royalties do petróleo após o avanço legislativo de 2013 (Lei n. 12.858/13), que destina a maior parte dos recursos para educação e saúde, juntamente ao cenário em que o pré-sal ganha preponderância. O objetivo da pesquisa é avaliar, através de procedimentos econométricos, se os aumentos das receitas do petróleo estão contribuindo significativamente para o avanço dos indicadores sociais como educação, saúde, emprego e renda, dos municípios fluminenses. Procura-se testar a hipótese de que o aumento das rendas do petróleo reflete no avanço dos indicadores sociais das regiões beneficiadas. Os procedimentos econométricos se baseiam na metodologia de Dados em Painel. Os resultados indicaram que não houve impactos significativos das receitas provenientes da atividade petroleira sobre os indicadores sociais.

Palavras-chave: Petróleo; Distribuição de Royalties; Dados em Painel.

### **ABSTRACT**

The research takes up the question about the distribution of oil royalties after the legislative advance of 2013 (Law No. 12,858 / 13), which allocates most of the resources for education and health, along with the scenario in which the pre-salt gains preponderance. The objective of the research is to assess, through econometric procedures, whether the increases in oil revenues are contributing significantly to the advancement of social indicators such as education, health, employment and income, in the municipalities of Rio de Janeiro. We try to test the hypothesis that the increase in oil revenues reflects the advancement of social indicators in the benefited regions. The econometric procedures are based on the Panel Data methodology. The results indicated that there was no significant impact of income from oil activity on social indicators.



Keywords: Oil; Royalty Distribution; Panel Data.

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da produção e exploração de petróleo no país, e o avanço do protagonismo do pré-sal no setor, torna imprescindível resgatar o debate acerca das receitas obtidas com a atividade e, principalmente, seu reflexo sobre a sociedade. Dado que legislação impõe que os recursos obtidos com royalties e participações especiais provenientes da atividade petroleira sejam investidos na área social, e que o estado do Rio de Janeiro auferir uma parcela majoritária desses recursos, surge a problemática: qual o impacto do aumento das rendas do petróleo sobre os indicadores sociais dos municípios fluminenses?

O objetivo da pesquisa é avaliar, através de procedimentos econométricos, se os aumentos das receitas do petróleo estão contribuindo significativamente para o avanço dos indicadores sociais como educação, saúde, emprego e renda, dos municípios fluminenses. Como o Estado tem o direito constitucional de auferir rendas sobre a atividade, tem a obrigação de investi-los na preservação do bem-estar da sociedade, logo, a hipótese é de que o aumento das rendas do petróleo reflete no avanço dos indicadores sociais das regiões beneficiadas. Os procedimentos econométricos se baseiam na metodologia de Dados em Painel.

A questão sobre rendas do petróleo ganhou proeminência após o marco regulatório do setor, estabelecido pela Lei 9.478/97, conhecida como Lei do Petróleo, que alterou a distribuição dos recursos e ampliou as possibilidades de aplicação na área social. Após a promulgação da lei os municípios ganharam um reforço orçamentário em termos de receita. Em 2010 foi aprovada a Lei n. 12.351/10, que estabelece o regime de partilha de produção e cria um Fundo Social, com a finalidade de construir recursos para o desenvolvimento social e regional. Finalmente em 2013, a presidente Dilma Rousseff assina a lei n. 12.858/13, que destina a totalidade dos recursos provenientes de royalties do petróleo para educação e saúde.

Com o aumento da produção de petróleo, a distribuição dos royalties e participações aumentaram significativamente. O estado do Rio de Janeiro, onde se localiza a Bacia de Campos, representou cerca de 70% do destino desses recursos. Importante ressaltar a importância que o pré-sal vem ganhando nos últimos anos. A produção da região, que era de cerca de 40 mil (bpd<sup>1</sup>) em 2010, atingiu mais de 1,5 milhão (bpd) em 2019.

O artigo está dividido em mais quatro seções, além desta introdução. A seção 2 apresenta o referencial teórico, subdividida em:

---

1 Barris por dia.

i) Rendas e produção de petróleo: um panorama geral; ii) revisão da literatura; iii) aspectos teóricos e iv) maldição dos recursos naturais. Na seção 3 foram desenvolvidos os aspectos metodológicos, com subseções destinadas para: i) descrever a base de dados, ii) construção do modelo econométrico, e iii) para os procedimentos econométricos. Já na seção 4 é desenvolvida a análise dos resultados, dividida em duas partes: i) análise do modelo com o regressor Royalties + Participações Especiais, ajustado pela população (per capita), onde se verifica o impacto da abundância dos recursos sobre os indicadores, e ii) com o regressor Royalties + Participações Especiais, controlado pela Receita Corrente dos municípios, para investigar os impactos da dependência em relação as rendas do petróleo em cada município. Posteriormente são apresentadas as considerações finais na seção 5, e, por fim, as referências bibliográficas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Rendas e produção de petróleo: um panorama geral

A questão sobre rendas do petróleo ganhou proeminência após o marco regulatório do setor, estabelecido pela Lei 9.478/97, conhecida como Lei do Petróleo, que alterou a distribuição dos recursos e ampliou as possibilidades de aplicação na área social. Após a promulgação da lei os municípios ganham um reforço no volume de receitas. Esse movimento ganha fôlego na dimensão legislativa no decorrer dos anos 2000. Em 2010 é aprovada a Lei n. 12.351/10, que estabelece o regime de partilha de produção e cria um Fundo Social, órgão vinculado à Presidência da República, com a finalidade de construir recursos para o desenvolvimento social e regional.

Em 2013 a presidente Dilma Roussef assina a lei n. 12.858/13, que define as frações dos royalties do petróleo para educação (75%) e saúde (25%). Os recursos destinados referem-se às receitas obtidas pela União, estados e municípios provenientes dos royalties e participação especial, além de 50% dos recursos recebidos pelo Fundo Social.

No decorrer dos anos 2000 a produção de petróleo aumenta consideravelmente no Brasil. De 2005 até 2019 a produção total marítima<sup>1</sup> (pré-sal e pós sal) aumentou em mais de 60% (Figura 1). O grande personagem desse aumento foram as jazidas do pré-sal, que manifestaram um vasto potencial, tanto em produção como em produtividade. Segundo dados da ANP a produção da área que era de cerca de 40 mil (bpd) em 2010, atingiu mais de 1,5 milhão (bpd) em 2019. O dado

---

<sup>1</sup> A produção em terra corresponde por menos de 5% da produção total (ANP, 2021b).

surpreende ao recordar que desde a criação da Petrobras foram necessários 45 anos para a produção atingir 1 milhão (bpd) (ANP, 2021a, 2021b). Em termos de produtividade os dados também são formidáveis. Em 1984 foram necessários 4.108 poços para a produção atingir 500 mil (bpd), e em 2018 com apenas 77 poços a produção atingiu a cifra de 1,5 milhão (bpd). Recortando a análise para o estado do Rio de Janeiro, verifica-se também um aumento significativo. A produção de petróleo aumentou em mais de 50%, permanecendo em patamares elevados até o final da série (Figura 2). Com o progresso da atividade, torna-se imprescindível retomar a questão do pagamento dos royalties e participações especiais, que representam uma forma de receita importante para estados e municípios.

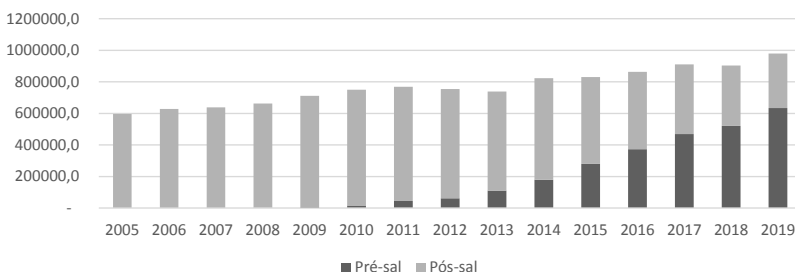


Figura 1 - Produção Nacional de Petróleo e LGN<sup>1</sup> no mar (mil barris), 2005-2019

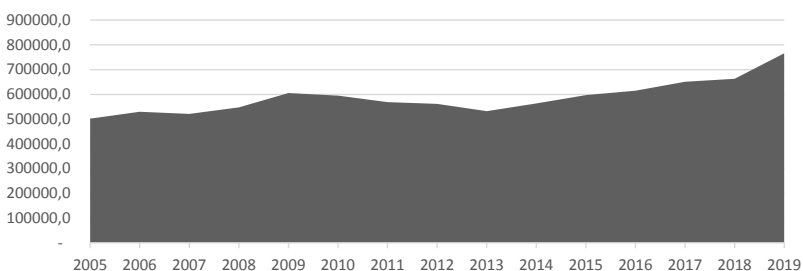


Figura 2 - Produção do Rio de Janeiro de Petróleo e LGN (mil barris), 2005-2019

1 Líquido de Gás Natural.

A principal forma de participação governamental nos recursos provenientes da atividade de extração e produção de petróleo, que ganha destaque com a Lei do Petróleo (n. 9.478/1997), são os royalties. Pagamento compensatório feito à União pelas concessionárias devido aos impactos negativos que a atividade exerce sobre os municípios, com vistas a contrapesar reduções de bem estar e degradações ambientais nessas localidades (POSTALI & NISHIJIMA, 2011).

Como pode ser visto pela Figura 3, os municípios são os principais destinatários das receitas com royalties em comparação com as outras esferas. Acompanhando o aumento da produção, as receitas cresceram de forma contínua entre 2010 e 2014, são reduzidas em 2015 e 2016, com a redução dos preços internacionais do petróleo, mas logo se recuperam em 2018 e 2019. O pagamento de Participação Especial (PE) segue a mesma lógica dos Royalties, porém são aplicados quando a produção atinge patamares de produtividade elevados (ANP, 2021b). Mesmo que os municípios representem uma parcela inferior em relação às outras esferas, o recurso significa uma renda adicional para os órgãos municipais. O pagamento seguiu um comportamento similar ao dos royalties (Figura 4).

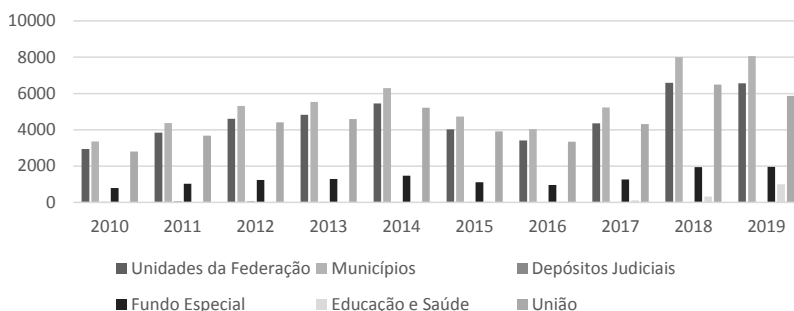


Figura 3 - Distribuição de royalties sobre a produção de petróleo e de gás natural, segundo beneficiários – milhões R\$, 2010-2019

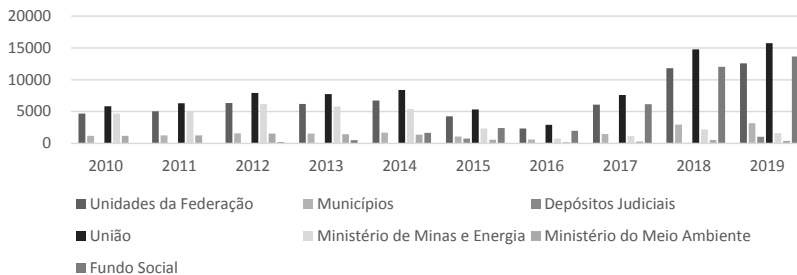


Figura 4 - Distribuição de Participação Especial sobre a produção de petróleo e de gás natural, segundo beneficiários - milhões R\$, 2010-2019

O estado do Rio de Janeiro se destaca quando estratificamos os dados por unidades da federação, dado que a maior parte da produção nacional se realiza na Bacia de Campos, no litoral do Rio de Janeiro (POSTALI & NISHIJIMA, 2011). O estado fluminense representa quase 70% da distribuição dos royalties (2019). O mesmo ocorre para o pagamento de Participação Especial, representando 71% (2019) entre 11 estados beneficiados<sup>1</sup> (ANP, 2021b).

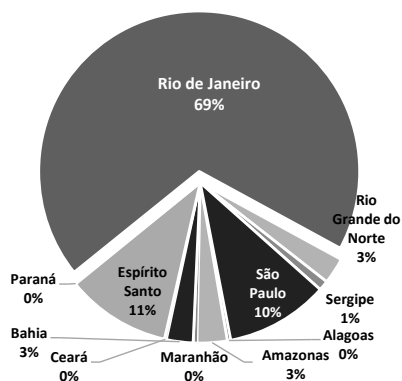


Figura 5 - Distribuição de royalties sobre a produção de petróleo e de gás natural, segundo beneficiários - estados, 2019

<sup>1</sup> Alagoas, Amazonas, Maranhão, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Sergipe e São Paulo.

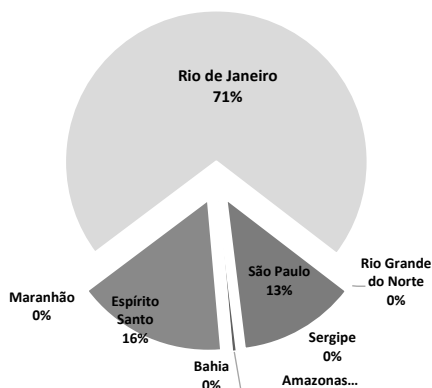


Figura 6 - Distribuição de Participação Especial sobre a produção de petróleo e gás natural, segundo beneficiários - estados em 2019

O crescimento da atividade petrolífera no país, em concomitância com a representatividade do Rio de Janeiro nesses recursos, definiu o objeto da pesquisa: os municípios do estado fluminense. Como determinado pela legislação brasileira, esses recursos devem ser investidos de forma predominante, em educação e saúde, daí revela-se a necessidade de pesquisas aplicadas para avaliar se esses recursos estão refletindo em melhores condições de vida para a população. Através dos resultados será possível avaliar também qual foi a qualidade desses investimentos.

## 2.2 Revisão da literatura

Após à promulgação da Lei do Petróleo em 1997, vários trabalhos se propuseram a avaliar os efeitos das rendas obtidas com royalties e PE sobre indicadores sociais, para diversas regiões do país. Postali e Nishijima (2011) analisaram empiricamente se a distribuição dos royalties contribuiu para a melhoria dos indicadores sociais dos municípios contemplados com receitas do petróleo, em comparação com a média nacional. Os autores utilizaram o período 2000, 2005, 2006 e 2007, a partir da metodologia de dados em painel ajustada para Efeitos Fixos. Da mesma forma que a presente pesquisa, o índice utilizado para mensurar o desenvolvimento social foi o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM), e seus três componentes: IFDM - Educação, IFDM - Saúde, e IFDM – Emprego & Renda. Os principais

resultados obtidos pelos autores destacam que as rendas do petróleo não contribuíram significativamente para a melhoria dos indicadores sociais de saúde e educação dos municípios brasileiros beneficiados com os recursos do petróleo, gerando até mesmo efeitos negativos sobre os setores formais de trabalho no setor.

Gomes (2007) construiu um quadro do gasto social dos municípios do Rio de Janeiro para avaliar a influência das receitas provenientes das atividades de produção e exploração de petróleo. Segundo a autora os municípios que tiveram uma elevação significativa em função dos royalties recebidos apresentaram grandes despesas nos setores sociais, entretanto, quanto maior as receitas de royalties, menor a parcela relativa da receita total a setores sociais, o que significa um aumento do gasto social per capita sem comprometer um maior percentual da receita total. A autora conclui que quanto maiores eram as receitas de royalties de petróleo dos municípios, apenas parte dos indicadores de saúde se apresentaram significativamente melhores em relação aos demais municípios. No caso da educação, nenhum indicador apresentou avanço.

Colocando novamente os municípios do Rio de Janeiro em evidência, Patrão (2004) avaliou os impactos nas condições de vida da população, causados pelas receitas provenientes de royalties do petróleo e gás natural, recebidas por 59 municípios fluminenses entre 1996-2001. A autora conclui a partir dos resultados que os indicadores sociais do período não foram sensíveis à variável de controle “royalties per capita”, isto é, não é possível afirmar que um aumento das receitas da extração do hidrocarboneto tenha se refletido em melhoria das condições de vida dos municípios beneficiados. Os mesmos resultados foram encontrados para a região do Espírito Santo (CAÇADOR & MONTE, 2013) e para a Bacia do Recôncavo (BRAGA et al., 2005).

Tavares e Almeida (2014), utilizando o estimador de Diferença nas Diferenças (DID), conjugado com a técnica de Emparelhamento por Score de Propensão (*Propensity Score Matching*), concluíram que as receitas de royalties aumentaram, em média, os gastos com educação e saúde, entretanto, esse impacto não se traduziu diretamente na melhora do desenvolvimento social medido pelo IDH.

Mendes e França (2009), analisando a região petrolífera de Sergipe, atenta para o fato de que a carência de políticas sociais que ofereçam às populações condições de inserção nas questões econômicas, políticas e sociais na região produtora de petróleo, tem sido responsável por frear o desenvolvimento na região, e a melhora das condições de vida das populações, o que expõe a incoerência entre recursos volumosos depositados nos cofres públicos municipais, proporcionado pelos royalties e os elevados índices de pobreza na região.

De maneira geral, a literatura se posiciona na vertente de que o aumento das receitas provenientes de royalties e participações espe-

ciais não reflete diretamente na melhora das condições de vida da população ou da região beneficiada. Com o pré-sal ganhando proeminência, o presente trabalho busca analisar se esse padrão ainda se sustenta para os municípios fluminenses.

### 2.3 Aspectos teóricos

O tema que envolve recursos naturais não renováveis esteve historicamente presente na literatura. A discussão sobre o tema remonta à escola clássica, cujos maiores expoentes foram Adam Smith, David Ricardo e Thomas Malthus (PATRÃO, 2004). O aspecto fundamental dessa atividade é a limitação física de seu estoque na natureza, o que elimina a possibilidade das gerações futuras de desfrutar desses recursos, caso sejam extraídos no presente. Essa característica remete ao conceito de custo de uso, uma espécie de custo de oportunidade associada a um componente temporal: a exploração de um recurso não renovável hoje implica um custo de oportunidade de extraí-lo em algum momento futuro.

O custo de uso seria a diferença entre o preço do recurso e seu custo marginal de produção, o que representaria uma forma de compensação ao proprietário dada à redução do seu valor ao extrair os recursos. Esse componente da renda também é chamado de renda de Hotteling (POSTALI & NISHIJIMA, 2011).

Hotteling (1931) foi o pioneiro a sistematizar o conceito de rendas dos recursos minerais, através de uma regra de “uso ótimo” dos recursos esgotáveis, um marco para a formação da Economia dos Recursos Naturais. Para o autor a renda dos recursos minerais está ligada ao seu custo de uso. O detentor dos direitos de propriedade seria o responsável pela trajetória de extração dos recursos. O proprietário deveria seguir uma lógica de maximização do valor da jazida ao longo do tempo. A extração no presente remete a renúncia da receita de extração no futuro. Sendo assim, o autor destaca que a renda do recurso, medida pelo seu custo de uso, deveria crescer à taxa de juros, com a finalidade de obter uma trajetória “ótima” da extração dos recursos, dessa forma, haveria um “equilíbrio” entre as gerações.

Importante ressaltar que esse modelo é baseado sob uma caracterização da economia em concorrência perfeita, o que imprime inúmeras restrições. Soma-se a esse fato que o modelo não incorpora a descoberta de novas reservas, avanços tecnológicos e um ambiente de incerteza, que efetivamente minimizam o impacto da restrição física de recursos sobre preços e a trajetória de extração. Nesse cenário, a adoção de uma taxa de desconto, defendida pelo modelo de Hotteling, com a finalidade de garantir uma extração ótima, e consequentemente, uma justiça intergeracional, é a principal crítica de autores neoclássicos. Quanto maior a taxa de desconto, maior a extração, o que não im-



plica condições mais justas para gerações futuras. Finalmente, o modelo não incorpora externalidades negativas provocadas pelas atividades de extração e consumo dos recursos naturais, estes, que são dramáticos para atividades petroleiras (PATRÃO, 2004).

Alguns desses elementos foram incorporados ao modelo de Hotteling, para conciliar a teoria com os resultados empíricos. Houve um avanço com a organização feita por Hartwick (1977), relacionado à renda de um recurso e o bem-estar geral da população. O autor defende que as rendas geradas por recursos não renováveis deveriam ser investidas na acumulação de bens de capital, capital humano ou físico, a fim de que a geração atual deixe para o futuro, capital reprodutível, humano e físico adequado, para que essa mantenha um padrão satisfatório de vida. A equidade intergeracional seria mantida ao se manter um nível de consumo per capita constante ao longo do tempo, e este seria mantido através do investimento das rendas geradas com as atividades extrativas em capital humano e físico, em um volume equivalente das receitas obtidas (PATRÃO, 2004).

A partir das constatações teóricas acima, podemos acentuar que a compensação pela perda de estoque de capital é o cerne da necessidade de indenização aos municípios pelas atividades petroleiras. Como os recursos são finitos, com o avanço da produção o estoque de ativos diminui. A União como proprietária dos recursos tem o direito de auferir as rendas e a obrigação de investi-las no progresso social dessas regiões (POSTALI & NISHIJIMA, 2011).

Neste contexto, os municípios produtores e confrontantes, além dos afetados pela produção de petróleo, são ressarcidos não apenas para compensar eventuais impactos deletérios da indústria extrativa sobre as localidades, mas também para alocar ao público, como legítimo proprietário dos recursos, as rendas que lhe são de direito (POSTALI & NISHIJIMA, 2011, pp. 470-71).

Nesse propósito, segundo a legislação, as rendas obtidas com a exploração e produção de petróleo são conjugadas com a obrigatoriedade de investimentos na área social, para que os benefícios da atividade sejam difundidos de maneira mais justa entre as gerações. Esse modelo é criticado por Serra (2003; 2007). O autor questiona a distribuição das rendas do petróleo pelo modelo de municípios confrontantes - no caso da produção *offshore*, o que define os “municípios confrontantes” e a maneira como os benefícios são distribuídos, são linhas de projeção dos respectivos limites territoriais até os campos marítimos (linhas ortogonais e paralelas) (ANP, 2017). O autor destaca que esse modelo é pautado no “sequestro das rendas petrolíferas” feito pelo poder local “sortudo”. Sua crítica indica que os critérios de dis-

tribuição concentram os recursos nos municípios com maior proximidade geográfica dos campos de petróleo e sugere que os critérios de distribuição deveriam se basear principalmente nos efeitos socioeconômicos produzidos sobre cada um deles, promover políticas regionais compensatórias, compensar os beneficiários pelos aspectos negativos causados pela exploração desses recursos e avançar para o processo de descentralização fiscal, ao invés da opção pela promoção da justiça intergeracional. O autor destaca ainda que o modelo carece de aperfeiçoamento, e um avanço seria a incorporação do conceito de “difusão espacial” nos critérios.

## 2.4 Maldição dos Recursos Naturais

O pagamento de royalties, como supracitado, busca dar uma resposta para a exploração de recursos finitos de forma mais justa entre as gerações. Para isso, a obrigatoriedade de que os investimentos convirjam para a dimensão social e se convertam em desenvolvimento econômico e social. Entretanto, a literatura sobre recursos naturais coloca em discussão o proveito concreto das explorações. Associa-se as atividades do segmento como uma benção ou maldição para o sistema econômico.

A relação causal negativa entre abundância de recursos naturais e crescimento econômico, calcada nas pesquisas seminais de Auty (1993; 2001a, 2001b) e de Sachs; Warner (1995; 1999; 2001), veio a ser denominada de “Maldição dos Recursos Naturais”. O fenômeno incorpora várias dimensões de análise, entre elas, econômica, social, política e ambiental. Na dimensão econômica, destaca-se a tendência à deterioração dos termos de troca; a volatilidade dos preços e a apropriação da renda por uma elite predatória, particularizado nos casos de *rent-seeking*. Ambos fatores são limitantes progressivos para o crescimento de países exportadores de commodities agrícolas. Também na dimensão econômica, destaca-se os impactos no câmbio. A renda em divisas gerada com a produção e exportação de commodities levaria a apreciação do câmbio real. Esse movimento tende a concentrar os investimentos nesse segmento, gerando assimetrias entre as importações em favor das commodities<sup>1</sup> (FRISCHTAK & BELLUZZO, 2014).

Essa visão utiliza como referência países que estiveram de frente com grandes oportunidades no estoque de recursos naturais, mas que não foram capazes de convertê-los em transformação econômica e industrial. Por outro lado, existem algumas posições que buscaram argumentar no sentido contrário, indicando que a dotação de recursos poderia estimular o desenvolvimento econômico quando articulado com outros elementos inovativos e de infraestrutura (LADERMAN

---

<sup>1</sup> Esse fenômeno foi denominado de “Doença Holandesa.

& MALONEY, 2007; HUMPHREYS; SACHS & STIGLITZ, 2007; STIJNS, 2005).

Assim, o trabalho busca desenvolver elementos para avançar com o debate sobre o modelo de distribuição dos royalties atual, avaliando se os aumentos das receitas provenientes do petróleo estão sendo revertidas em melhores condições de vida para a população, consubstanciado nos indicadores de desenvolvimento.

### 3. METODOLOGIA

O modelo econométrico desenvolvido utiliza dados empilhados e dados em painel para os anos de 2005 à 2016<sup>1</sup> (ano base). Essa categoria combina dados de corte transversal com séries de tempo. Nesse formato, analisam-se as mesmas observações do corte transversal (municípios do estado do Rio de Janeiro), durante determinado recorte temporal (2005 a 2016).

Segundo Wooldridge (2006), utilizar dados em painel oferece vantagens como: controlar características não observáveis dos indivíduos (heterogeneidade individual) e estudar o impacto das defasagens da série. Baltagi (2005) acrescenta que o estudo de dados em painel fornece dados mais informativos, expressa melhor ajustamentos dinâmicos, permite o estudo de modelos comportamentais mais complexos, além de ter vantagens com a investigação de micro e macro painéis. Essas características contribuem para estimadores mais precisos e estatísticas de testes mais significativas, melhorando o poder de inferência. Uma definição mais detalhada sobre as variáveis é feita a seguir.

#### 3.1 Escolha da base de dados

##### 3.1.1 Royalties e Participação Especial

Em relação ao pagamento de Royalties, trata-se de uma compensação financeira que é paga ao Estado e repassada à sociedade pela exploração de um recurso não renovável. Toda empresa que atua na produção e exploração de petróleo no território brasileiro efetua obrigatoriamente esse pagamento. Os royalties incidem sobre a produção mensal do campo produtor e são devidos à União. Os pagamentos são recolhidos pela Secretaria do Tesouro Nacional (STN), que se encarrega de repassar os valores aos beneficiários com base nos cálculos organizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através da legislação pertinente. O valor a ser pago

---

<sup>1</sup> Último ano disponível no acesso em 24/01/2021 para o IFDM, obtido pela edição de 2018 (<https://www.firjan.com.br/ifdm/>).

pelos concessionários é obtido a partir da multiplicação de três fatores: (1) alíquota dos royalties do campo produtor (pode variar de 5% a 10%); (2) produção mensal de petróleo e gás natural produzidos pelo campo; (3) preço de referência (ANP, 2017).

Com o mesmo objetivo dos royalties, o pagamento da Participação Especial é uma compensação financeira devida à sociedade; entretanto, incide sobre campos de alta produtividade. Nessa conta são aplicadas alíquotas progressivas, que são adaptadas conforme a localização da lavra, o número de anos de produção e o respectivo volume de produção trimestral. As alíquotas são aplicadas sobre a receita líquida da produção trimestral de cada campo. A destinação dos recursos é feita a partir de quatro formas de distribuição estipuladas pela legislação: (1) para a produção *onshore*, 50% são repassados à União, 40% aos estados produtores e 10% aos municípios produtores<sup>1</sup>; (2) para recursos que foram comercializados até 2012, e a produção foi realizada no pré-sal em área específica<sup>2</sup>, 50% dos recursos são destinados ao Fundo Social, 40% aos estados confrontantes e 10% aos municípios confrontantes; (3) para recursos provenientes de produção *offshore*, exceto pré-sal, com comercialização até 2012, 50% são repassados à União, 40% aos estados confrontantes com a plataforma continental onde ocorrer à produção e 10% aos municípios confrontantes; (4) para recursos provenientes de produção *offshore*, comercializados após dezembro de 2012, 50% são repassados à União, 40% aos estados confrontantes com a plataforma continental onde ocorrer à produção e 10% aos municípios confrontantes<sup>3</sup> (ANP, 2017).

### 3.1.2 Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM)

A análise econométrica utilizou dados municipais do estado Rio de Janeiro, especialmente por ser o estado carioca o maior beneficiário das receitas advindas do petróleo. Foi utilizado o Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal (IFDM), calculado pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro para acompanhar o nível de desenvolvimento dos municípios brasileiros. O índice utiliza exclusivamente estatísticas públicas oficiais, com periodicidade anual. Assim como o Índice de Desenvolvimento Humano, o IFDM varia entre 0 a 1, sendo que conforme o município se aproxima da unidade, maior o seu nível de desenvolvimento.

De acordo com FIRJAN (2015), esse indicador é composto pela média de três componentes: Emprego e Renda, Educação e Saúde. O indicador de emprego e renda busca avaliar a capacidade do município

1 Conforme determinado pelo art. 50 da Lei 9.478/97.

2 Definida pelo inciso IV do Art. 2º da Lei 12.351/10 (DARF 3037).

3 Conforme determinado pela Lei 12.858/13.

de gerar empregos, absorver mão de obra local, e, por outro lado, sua capacidade de gerar renda e distribuir no mercado de trabalho local. Os dados são retirados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) e do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), disponibilizados pelo Ministério do Trabalho e Emprego.

O índice de educação busca compreender a qualidade da educação nos municípios, a começar pelo ensino infantil e principalmente o ensino fundamental oferecido por escolas públicas e privadas. Os dados são retirados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), fornecido pelo Ministério da Educação.

O terceiro componente investiga a qualidade da saúde nos municípios, com foco na saúde básica. Os dados dessa categoria foram retirados do Sistema de Informação sobre Mortalidade (SIM), do Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos (Sinasc) e do Sistema Internações Hospitalares (SIH), todos do DataSUS, disponibilizado pelo Ministério da Saúde. Uma síntese dos indicadores é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Composição do IFDM (elaborado pelo autor)

| Índice          | Composição   | Fonte                            |
|-----------------|--|----------------------------------|
| Emprego & Renda | Geração de emprego formal<br>Absorção da mão de obra local<br>Geração de renda formal<br>Salários médios do emprego formal<br>Desigualdade   | Ministério do Trabalho e Emprego |
| Educação        | Matrículas na educação infantil<br>Abandono no ensino fundamental<br>Distorção idade-série no ensino fundamental<br>Docentes com ensino superior no ensino fundamental<br>Média de horas aula diárias no ensino fundamental<br>Resultado do IDEB no ensino fundamental | Ministério da Educação           |
| Saúde           | Número de consultas pré-natal<br>Óbitos por causas mal definidas<br>Óbitos infantis por causas evitáveis<br>Internação sensível à atenção básica   | Ministério da Saúde              |
| IFDM            | Média Aritmética dos três componentes: Emprego e Renda, Educação e Saúde   |                                  |

O motivo para escolher o IFDM reside na sua capacidade de mensurar o nível de desenvolvimento municipal e, especificamente, em desagregá-lo em áreas centrais para o desenvolvimento humano, como educação, emprego, renda e saúde. A série utilizada engloba os anos de 2005 até 2016, seguindo a disponibilidade dos dados da Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro - como os dados só utilizam estatísticas oficiais existe uma defasagem temporal entre

as publicações e os anos de referência.

### 3.2 O modelo econométrico

A pesquisa busca analisar se a abundância de recursos adquiridos com receitas do petróleo, aqui computadas como royalties somados a PE, em relação à população, e, se a dependência dos recursos em relação às receitas correntes, impactaram os indicadores sociais dos municípios do Rio de Janeiro de forma significativa. Para captar os efeitos ao longo do tempo utilizaram-se variáveis *dummy* para todos os anos, além do ano base (2013).

O modelo econométrico foi baseado no trabalho de Postali e Nishijima (2011), que analisou o impacto das rendas do petróleo nos municípios brasileiros em 2000, 2005, 2006 e 2007. O objetivo da equação não é investigar se o IFDM melhorou (se aproximou da unidade) de forma absoluta com o impacto das rendas do petróleo, mas, por outro lado, observar se os municípios melhoraram em relação à média nacional, no que se refere ao IFDM consolidado, e também ao IFDM por área: Educação, Emprego & Renda e Saúde. Com esse propósito a variável de interesse foi normalizada pela média como segue:

$$IFDM\_rel_{it} = \ln \left( \frac{IFDM_{it}}{IFDM_{it}} \right) \quad (1)$$

Dessa forma é possível captar a evolução do indicador do município em relação à média nacional, o que faz com que se obtenha um valor positivo para um IFDM maior que a média nacional, e negativo para IFDM menor do que a média nacional de cada município, em cada ano observado (POSTALI & NISHIJIMA, 2011). A partir dessa configuração, o objetivo do modelo é analisar se a renda do petróleo recebida pelos municípios fluminenses impacta na distância dos indicadores de desenvolvimento desses municípios em relação à média nacional. O PIB per capita foi incluído como variável de controle.

A estratégia econométrica segue o modelo de dados e empilhados, Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA):

$$IFDM\_rel_{it} = \alpha + \mathcal{F}_i + \beta_1 ROY_{it} + \beta_2 PIBPC_{it} + \beta_4 GRANDES + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Os componentes dessa equação representam:

- IFDM\_rel: Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal relativo para o município  $i$  no tempo  $t$ .
- ROY: Total de royalties mais Participações Especiais em R\$ 1000,00, recebidos pelo município  $i$  no tempo  $t$ .
  - Esse indicador foi normalizado separadamente pela população (per capita) e pela renda corrente do município. Ambos indicadores estão em log.
- PIBPC: representa o logaritmo do PIB per capita do município  $i$  no ano  $t$ . Fonte: IBGE.
- D\_GRANDESit: é uma variável binária, sendo igual a 1 para os municípios que receberam mais de R\$ 1000,00 per capita em royalties e participações especiais, para poder analisar se municípios que receberam aportes mais elevados em termos de renda do petróleo expressaram um padrão dessemelhante em relação aos demais municípios.
- F: Efeito fixo do município
- $\alpha$ : constante estimada que capta os fatores não observados.
- $\varepsilon$ : o ruído branco

O modelo foi estimado em quatro categorias<sup>1</sup>, separadamente: i) primeiro, a variável dependente IFDM\_rel foi calculada para o IFDM consolidado (que representa a média dos outros três indicadores). Posteriormente o IFDM\_rel utilizou como variável a ser explicada os impactos nos índices de ii) educação, iii) saúde e iv) emprego & renda, para avaliar se a renda do petróleo afetou significativamente alguma dessas áreas de interesse.

### 3.3 Procedimentos econométricos

O modelo da equação 2 vai ser ajustado na pesquisa a partir dos dados empilhados agrupados (*pooled*), dos Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA), afim de avaliar qual será o melhor ajuste.

A opção *pooled* se baseia na coleta de amostras aleatórias anuais retiradas de determinada população em um período de interesse. Esse ajuste segue uma distribuição independente não identicamente distribuída, uma vez que a distribuição das variáveis tende a se modificar ao longo do tempo e esse efeito não é absorvido pelo modelo. A característica fundamental que diferencia o modelo com dados em painel para o modelo com dados agrupados (*pooled*), é que na regressão do primeiro os mesmos indivíduos são seguidos ao longo do tempo, enquanto a segunda opção não permite essa caracterização (WOODRIDGE, 2006).

---

<sup>1</sup> O processamento dos dados foi elaborado a partir do software STATA.

Aplicar o modelo por efeitos fixos (EF) acompanha o trabalho de Postali e Nishijima (2011). Nesse modelo o pressuposto é controlar a heterogeneidade individual. Desta forma, considera-se que a heterogeneidade não observada da amostra (municípios) é fixa ao longo do tempo. Após retirar os efeitos não observados, computam-se as estimativas convencionais do MQO (Mínimos Quadrados Ordinários) em equações por cortes transversais. O erro é denominado de erro idiossincrático, ou erro de variação temporal, pois esses valores expressam fatores não observados que mudam ao longo do tempo e que afetam as variáveis dependentes. O objetivo desse modelo é eliminar a heterogeneidade não observada, pois esses valores podem estar correlacionados com os regressores.

Já o modelo com Efeitos Aleatórios (EA) considera que o intercepto seja uma variável aleatória e não uma constante. Pressupõe-se que os efeitos individuais das variáveis estejam aleatoriamente distribuídos em torno de uma média constante. Nesse caso a heterogeneidade não observada é não correlacionada com todas as variáveis explicativas, em todos os períodos observados. Quando esse pressuposto for violado os estimadores serão inconsistentes (WOOLDRIDGE, 2006).

Para uma abordagem fidedigna com os procedimentos econométricos, foram aplicados testes que indicassem o modelo mais adequado para a investigação dos dados. Para comparar os ajustes *pooled* e EF foi utilizado o teste de Chow. O procedimento utiliza a estatística F do ajuste por EF. Nesse movimento, se for possível rejeitar significativamente a hipótese nula de que todos os coeficientes são iguais à zero, o modelo mais indicado será com EF. Caso a estatística indique o *pooled* em detrimento dos EF, será feito o teste LM de Breusch-Pagan para comparar o modelo *pooled* com EA, rejeitar a hipótese nula indica que o modelo com EA é mais significativo.

Para avaliar o melhor ajustamento entre EF e EA será aplicado o teste de Hausman. O teste compara as estimativas obtidas com os EF e os EA. A hipótese a ser testada é de que o ajuste por EA é consistente. Rejeitar a hipótese nula indica que o ajuste por EF será mais adequado. Para que a análise seja significativa estatisticamente, é importante que a série atenda as hipóteses de Gauss-Markov, com o objetivo de que os estimadores de MQO sejam os Melhores Estimadores Lineares Não Viesados (MELNV, ou BLUE na sigla em inglês).

Uma das hipóteses a ser considerada é a de homocedasticidade. Essa característica ocorre quando a variância dos erros, condicionada aos regressores, é constante. Por outro lado, encontra-se heterocedasticidade quando a dispersão em torno da regressão se modifica em função dos regressores. Segundo Wooldridge (2006) o problema da heterocedasticidade, mesmo que não implique necessariamente vies



ou inconsistência dos estimadores, prejudica a validade das estimativas para os erros-padrão, estatísticas  $t$  e  $F$ , gerando estimadores ineficientes. Entre as causas do problema pode-se citar: falhas de especificação do modelo, valores extremos ou a própria natureza das variáveis. Para verificar a heterocedasticidade foram utilizados os testes de White e Breush-Pagan no modelo pooled, e Wald Modificado para EF. A hipótese nula a ser testada é de homocedasticidade.

Outra hipótese a ser testada é a de que não há autocorrelação (correlação serial) entre os termos de erro. Se o estimador não atender a esse pressuposto, não será mais o MELNV, pois os estimadores deixam de ter variância mínima (deixam de ser eficientes). Nesse caso os testes tradicionais são invalidados, como a estatística  $t$  e  $F$ . Pode-se apontar como causas: falhas de especificação do modelo, a ausência de defasagens nos regressores, ou inércia, quando a série apresenta ciclos (WOOLDRIDGE, 2006). Para testar a presença de autocorrelação, no modelo com dados em painel e EF foi utilizado o teste de Wooldridge implementado com Wald. A hipótese nula a ser testada é de que os erros não estão autocorrelacionados.

Na presença de heterocedasticidade e autocorrelação, a medida de correção considerada no trabalho é o uso de estimadores robustos, válido quando se manipula amostras grandes. Nesse caso o estimador continua válido assintoticamente (consistente), viabilizando a significância das estatísticas  $t$  e  $F$ .

Outra hipótese que integra o Modelo Clássico de Regressão diz respeito à distribuição dos erros. Para testar a hipótese nula de que os erros seguem uma distribuição normal, foi utilizado o teste assintótico de Jarque-Bera.

Finalmente, para uma investigação confiável dos estimadores, é preciso avaliar se as séries se enquadram no caso de processos estacionários fracamente dependentes. Conforme Wooldridge (2006), um processo estacionário ocorre quando as distribuições de probabilidade são estáveis no decorrer do tempo, sendo fracamente dependente, se à medida que as observações se afastam no tempo a correlação temporal entre elas se torna cada vez menor. Se essas características não forem atendidas, podem-se computar resultados espúrios. Para investigar se as séries se enquadram em processos estacionários foi realizado o teste de raiz unitária *Levin-Lin-Chu (LLC)*, considerado quando se pressupõe um painel balanceado (mesmo número de anos para as mesmas variáveis). A hipótese nula que se procura rejeitar é de que o painel contém raiz unitária.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os modelos foram estimados com base na equação 2 a qual teve como regressando o IFDM-geral, e seus três componentes: IFDM-Educação, IFDM-Saúde, IFDM-Emprego & Renda. Os resultados foram organizados em duas seções. Na primeira seção apresentam-se os resultados do modelo ajustado com a variável de interesse: Royalties + Participações Especiais pela população (Royalties per capita) - o regressor está definido em log para verificar a elasticidade. Procura-se avaliar se a abundância de recursos (royalties per capita) afeta significativamente os indicadores sociais selecionados. A hipótese é de que o aumento de recursos levaria a um avanço dos indicadores sociais dos municípios do Rio de Janeiro.

Na segunda seção, são apresentados os resultados com a variável independente de interesse: Royalties + Participações Especiais sobre receita corrente (Royalties + Pe/Receita Corrente), controlado pela Receita Corrente de cada município - o regressor está definido em log para verificar a elasticidade. Essa variável trata-se de uma medida de dependência em relação aos recursos provenientes do petróleo. Quanto maior o índice, mais dependente será o orçamento dos municípios em relação às rendas do petróleo. O objetivo é avaliar se as variáveis independentes de interesse afetam significativamente os indicadores sociais dos municípios fluminenses. A hipótese é de que se o coeficiente for significativamente positivo, os recursos impactam positivamente nos indicadores sociais.

### 4.1 Avaliação dos resultados: royalties per capita

Como definido na metodologia, para selecionar a melhor técnica de ajustamento (*pooled*, EF ou EA), foram feitos os testes: (i) Chow: compara ajuste *pooled* e EF; (ii) Hausman: compara EF e EA; e, se for necessário, LM de Breusch-Pagan: compara *pooled* e EA.

O Teste de Chow mostrou que, em um nível de significância de 1%, é possível rejeitar o modelo ajustado via *pooled* para os quatro modelos em evidência, conseqüentemente, o ajuste mais apropriado é através de EF. Posteriormente, o p-valor do teste de Hausman mostrou que, em um nível de significância entre 1% e 5%, é possível rejeitar o modelo com EA. Portanto, os testes para comparar o melhor ajuste entre as variáveis escolhidas indicaram que o ajuste com EF, quando se controla a heterogeneidade individual, é o mais indicado.

Tabela 1 - Teste melhor ajuste: testes de Chow (*Pooled* ou EF)

|                    | Estatística | p-valor |
|--------------------|-------------|---------|
| IFDM-Geral         | 30.73       | 0.00000 |
| IFDM-Educação      | 38.87       | 0.00000 |
| IFDM-Saúde         | 31.97       | 0.00000 |
| IFDM-Emprego&Renda | 11.68       | 0.00000 |

H0: Modelo restrito (*pooled*); H1: modelo irrestrito (efeitos fixos)

Tabela 2 - Teste de Hausman para comparar EF e EA

|                    | Estatística | p-valor |
|--------------------|-------------|---------|
| IFDM-Geral         | 80.36       | 0.00000 |
| IFDM-Educação      | 26.55       | 0.02200 |
| IFDM-Saúde         | 24.41       | 0.04080 |
| IFDM-Emprego&Renda | 99.62       | 0.00000 |

H0: Ajuste por modelo de EA

No caso do modelo *pooled*, os testes de heterocedasticidade de White deram indícios de que a variância dos erros segue um comportamento errático, pois para os quatro modelos foi possível rejeitar a hipótese nula de homocedasticidade a 1 e 5%. A mesma objeção foi obtida para IFDM-Geral e IFDM-Educação no teste de Breusch-Pagan. Ainda no caso de dados empilhados, o Teste de Jarque-Bera deu evidências a 1% de significância para rejeitar a hipótese nula de normalidade dos erros. O resumo dos resultados encontra-se a seguir.

Tabela 3 - Teste de Heterocedasticidade

| Regressando        | White       |          | Breusch-Pagan/<br>Cook-Weisberg |               |
|--------------------|-------------|----------|---------------------------------|---------------|
|                    | Estatística | p-valor  | Estatística                     | p-valor       |
| IFDM-Geral         | 187.272     | 3.70E-17 | 8.77                            | 0.0031        |
| IFDM-Educação      | 125.773     | 4.70E-08 | 3.77                            | 0.0521        |
| IFDM-Saúde         | 82.397      | 4.60E-03 | 1.97                            | <b>0.1605</b> |
| IFDM-Emprego&Renda | 177.223     | 1.40E-15 | 0.41                            | <b>0.5198</b> |

H0: Homocedasticidade

Tabela 4 - Shapiro Wilk - normalidade erro

| Regressando        | Estatística | p-valor |
|--------------------|-------------|---------|
| IFDM-Geral         | 4.567       | 0.0000  |
| IFDM-Educação      | 4.736       | 0.0000  |
| IFDM-Saúde         | 7.641       | 0.0000  |
| IFDM-Emprego&Renda | 6.965       | 0.0000  |

H0: Normalidade dos erros

Para o modelo com EF os resultados foram similares. O teste Wald Modificado, para verificar a heterocedasticidade, apresentou p-valor nulo para os quatro modelos, o que dá evidências a 1% de significância para rejeitar a hipótese nula de homocedasticidade ou variância constante dos termos de erro. Para avaliar a autocorrelação foi utilizado um teste de Wooldridge implementado com Wald. Somente o modelo com o regressando IFDM-Emprego & Renda não apresentou estatísticas significativas para rejeitar a hipótese nula de homocedasticidade. O teste de Jarque-Bera para normalidade dos erros apresentou o p-valor nulo para os quatro ajustes, o que rejeita a 1% de significância a hipótese nula de que os erros seguem uma distribuição normal. Finalmente foi avaliado se as séries são estacionárias. O teste de raiz unitária de Levin-Lin-Chu, com uma *dummy* de tendência, deu evidências a 1% de significância para se rejeitar a hipótese nula de que o painel contém raiz unitária.

Tabela 5 - Teste de Heterocedasticidade  
Wooldridge implementado com Wald

|                    | chi2 (92) | Prob>chi2 |
|--------------------|-----------|-----------|
| IFDM-Geral         | 2678.94   | 0.00000   |
| IFDM-Educação      | 5.40E+05  | 0.00000   |
| IFDM-Saúde         | 27033.3   | 0.00000   |
| IFDM-Emprego&Renda | 3950.55   | 0.00000   |

H0: Homocedasticidade

Tabela 6 - Testes autocorrelação de Wooldridge

|                    | <b>Estatística F</b> | <b>Prob &gt; F</b> |
|--------------------|----------------------|--------------------|
| IFDM-Geral         | 6.40400              | 0.01320            |
| IFDM-Educação      | 16.37600             | 0.00010            |
| IFDM-Saúde         | 166.82100            | 0.00000            |
| IFDM-Emprego&Renda | 0.16500              | <b>0.68580</b>     |

H0: Não há autocorrelação serial quando os resíduos da regressão das variáveis de primeira diferença deveriam ter.

Tabela 7 - Shapiro Wilk - normalidade erros

|                    | <b>Estatística Z</b> | <b>Prob&gt;z</b> |
|--------------------|----------------------|------------------|
| IFDM-Geral         | 4.597                | 0.00000          |
| IFDM-Educação      | 6.719                | 0.00000          |
| IFDM-Saúde         | 7.869                | 0.00000          |
| IFDM-Emprego&Renda | 4.694                | 0.00000          |

H0: Normalidade dos erros

Tabela 8 - Teste RU - Levin-Lin-Chu

|                    | <b>Estatística</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------|--------------------|----------------|
| IFDM-Geral         | -14.5846           | 0.00000        |
| IFDM-Educação      | -21.1205           | 0.00000        |
| IFDM-Saúde         | -21.7463           | 0.00000        |
| IFDM-Emprego&Renda | -13.7445           | 0.00000        |

H0: Há raiz unitária

Para corrigir os problemas de heterocedasticidade, autocorrelação e não normalidade dos resíduos, e viabilizar a avaliação das estatísticas t e F dos parâmetros, o modelo foi reestimado através de estimadores da variância robustos à heterocedasticidade ou autocorrelação. Esse procedimento não altera os coeficientes estimados, apenas corrige o erro-padrão dos parâmetros, viabilizando a utilização de estatísticas de análise. Os parâmetros de interesse estão sumarizados na tabela seguir:

Tabela 9 - Resultado do modelo de efeitos fixos

| Variáveis dependentes   |                            |                         |                      |                           |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| Variáveis independentes | (1)<br>IFDM<br>Consolidado | (2)<br>IFDM<br>Educação | (3)<br>IFDM<br>Saúde | (4)<br>IFDM/<br>Emp.&Ren. |
| Royalties per capita    | -0.000211<br>(-0.12)       | -0.000840<br>(-0.56)    | 0.00303<br>(0.94)    | -0.000716<br>(-0.11)      |
| PIB - per capita        | 0.0127<br>(1.82)           | 0.00300<br>(0.73)       | -0.000185<br>(-0.03) | 0.0368<br>(1.69)          |
| 2005                    | 0.0957***<br>(9.31)        | 0.110***<br>(10.68)     | 0.149***<br>(11.83)  | 0.00493<br>(0.16)         |
| 2006                    | 0.0917***<br>(11.02)       | 0.0927***<br>(9.75)     | 0.115***<br>(9.48)   | 0.0579*<br>(2.13)         |
| 2007                    | 0.0649***<br>(6.90)        | 0.0602***<br>(7.64)     | 0.0798***<br>(6.94)  | 0.0450<br>(1.50)          |
| 2008                    | 0.0431***<br>(5.03)        | 0.0344***<br>(5.09)     | 0.0537***<br>(4.72)  | 0.0305<br>(0.99)          |
| 2009                    | 0.0349***<br>(4.64)        | -0.0237*<br>(-2.32)     | 0.0427***<br>(3.75)  | 0.0369<br>(1.47)          |
| 2010                    | 0.0368***<br>(4.80)        | 0.0336***<br>(6.55)     | 0.0291*<br>(2.55)    | 0.0420<br>(1.64)          |
| 2011                    | 0.0246**<br>(3.22)         | 0.0208***<br>(5.13)     | 0.0141<br>(1.17)     | 0.0349<br>(1.45)          |
| 2012                    | 0.0282***<br>(4.33)        | 0.0252***<br>(5.92)     | 0.00884<br>(0.86)    | 0.0577**<br>(2.96)        |
| 2013                    | 0.0294***<br>(4.64)        | 0.0121**<br>(3.06)      | 0.0119<br>(1.21)     | 0.0732***<br>(3.50)       |
| 2014                    | 0.0558***<br>(12.13)       | 0.0130***<br>(4.04)     | 0.0151*<br>(2.07)    | 0.172***<br>(10.54)       |
| 2015                    | 0.0279***<br>(6.76)        | 0.000745<br>(0.45)      | 0.00863<br>(1.73)    | 0.105***<br>(6.61)        |
| 2016                    |                            |                         |                      |                           |
| Grandes                 | -0.00705<br>(-0.51)        | 0.00229<br>(0.28)       | 0.00206<br>(0.09)    | -0.0472<br>(-1.15)        |
| Cons                    | -0.0972<br>(-1.35)         | -0.00392<br>(-0.09)     | 0.0530<br>(0.73)     | -0.372<br>(-1.63)         |
| r2                      | 0.245                      | 0.377                   | 0.347                | 0.143                     |
| N                       | 1016                       | 1016                    | 1016                 | 1016                      |

Obs.: \*Significativa a 5%, \*\*significativo a 1% e \*\*\* significativo a 0,1\*. Estatística t em parênteses.

Mesmo com *dummies* para os anos significativas a 1 e 5%, os parâmetros de interesse (Royalties per capita) que tratam da contribuição dos royalties per capita, ou da abundância dos recursos para o avanço dos indicadores de desenvolvimento social, não foram significativos. Dessa maneira, os resultados não corroboram a hipótese de

que os recursos provenientes das rendas do petróleo auxiliam no avanço dos indicadores de desenvolvimento dos municípios fluminenses. Conclui-se que não existem evidências de impactos significativos das rendas do petróleo sobre indicadores de educação, saúde, emprego e renda dos municípios do estado do Rio de Janeiro em relação à média nacional no período de interesse.

#### 4.2 Avaliação dos resultados: royalties pela Receita Corrente dos municípios fluminenses

Testar a dependência orçamentária dos municípios fluminenses em relação às rendas do petróleo permite avaliar se os recursos provenientes da atividade petrolífera no estado estão contribuindo de forma positiva ou negativa para os indicadores de educação, saúde, emprego e renda.

Da mesma forma que os procedimentos anteriores, testaram-se a qualidade dos modelos através dos testes de Chow, Hausman e LM de Breusch-Pagan. O p-valor da estatística calculada para o teste de Chow foi igual a zero para os quatro modelos, o que rejeita o ajuste, com 1% de significância, com dados empilhados em detrimento do modelo com EF. Entretanto, ao calcular a estatística para o teste de Hausman não há evidências para se rejeitar a hipótese nula para o ajuste com a componente Educação, o que significa que o modelo com EA seria mais adequado. Nesse caso foi preciso testar o ajuste para pooled e EA. O teste LM de Breusch-Pagan deu evidências para rejeitar o ajuste com dados empilhados a 1% de significância. Para os demais ajustes o p-valor da estatística para o Teste de Hausman foi nula, o que indica a rejeição do modelo com EA. Conclui-se que o modelo mais indicado seria através de EF para o índice consolidado (IFDM-Geral) e seus componentes Saúde e Emprego & Renda. Para a componente Educação o modelo que apresenta mais qualidade foi ajustado por EA.

Tabela 10 - Teste melhor ajuste - testes de Chow (*Pooled* ou EF)

|                    | <b>Estatística</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------|--------------------|----------------|
| IFDM-Geral         | 30.29              | 0.00000        |
| IFDM-Educação      | 40.06              | 0.00000        |
| IFDM-Saúde         | 31.57              | 0.00000        |
| IFDM-Emprego&Renda | 13.22              | 0.00000        |

H0: Modelo restrito (*pooled*) H1: modelo irrestrito (efeitos fixos)

Tabela 11 - Teste de Hausman para comparar EF e EA

|                    | <b>Estatística</b> | <b>p-valor</b> |
|--------------------|--------------------|----------------|
| IFDM-Geral         | 97.29              | 0.00000        |
| IFDM-Educação      | 8.49               | <b>0.86250</b> |
| IFDM-Saúde         | 26.89              | 0.01990        |
| IFDM-Emprego&Renda | -167.34            | -              |

H0: Ajuste por modelo de EA

Tabela 12 - Teste LM de Breusch-Pagan

|               | <b>Estatística</b> | <b>p-valor</b> |
|---------------|--------------------|----------------|
| IFDM-Educação | 3011.01            | 0.0000         |

H0: Ajuste por modelo *pooled*

Para o modelo *pooled* os testes de heterocedasticidade de White e Breusch-Pagan deram evidências a 1 e 5% de significância para se rejeitar a hipótese de homocedasticidade para os quatro modelos de interesse. O teste de Jarque-Bera para normalidade dos erros, com um p-valor nulo, ocasionou fortes evidências para se afirmar que os erros não estão normalmente distribuídos.

Tabela 13 - Teste de Heterocedasticidade

| <b>Regressando</b> | <b>White</b>       |                | <b>Breusch-Pagan/<br/>Cook-Weisberg</b> |                |
|--------------------|--------------------|----------------|---|----------------|
|                    | <b>Estatística</b> | <b>p-valor</b> | <b>Estatística</b>                      | <b>p-valor</b> |
| IFDM-Geral         | 4.555              | 0.0000         | 4.555                                   | 0.0000         |
| IFDM-Educação      | 5.422              | 0.0000         | 5.422                                   | 0.0000         |
| IFDM-Saúde         | 7.467              | 0.0000         | 7.467                                   | <b>0.0000</b>  |
| IFDM-Emprego&Renda | 6.747              | 0.0000         | 6.747                                   | <b>0.0000</b>  |

H0: Homocedasticidade



Tabela 14 - Shapiro Wilk - normalidade erros

| Regressando        | Estatística | p-valor       |
|--------------------|-------------|---------------|
| IFDM-Geral         | 36.59       | 0.0000        |
| IFDM-Educação      | 3.29        | <b>0.0200</b> |
| IFDM-Saúde         | 6.66        | 0.0002        |
| IFDM-Emprego&Renda | 31.32       | 0.0000        |

H0: Normalidade dos erros

Avaliando o comportamento dos dados com EF foram utilizados os mesmos procedimentos econométricos da seção anterior. Houve evidências de heterocedasticidade, autocorrelação e ausência de normalidade dos erros. Manteve-se o padrão de correção com a operação de estimadores da variância robustos a heterocedasticidade e autocorrelação. O teste de Raiz Unitária de Levin-Lin-Chu, incluindo *dummies* de tendência, foram aproximadamente zero para todas as variáveis de interesse, o que rejeita a hipótese de raiz unitária e conclui que as séries são estacionárias.

Tabela 15 - Teste de Heterocedasticidade Wooldridge implementado com Wald

|                    | Estatística | p-valor |
|--------------------|-------------|---------|
| IFDM-Geral         | 2596        | 0.00000 |
| IFDM-Educação      | 1.70E+05    | 0.00000 |
| IFDM-Saúde         | 21284.85    | 0.00000 |
| IFDM-Emprego&Renda | 3977.4      | 0.00000 |

H0: Homocedasticidade

Tabela 16 - Testes autocorrelação de Wooldridge

|                    | Estatística F | Prob>F         |
|--------------------|---------------|----------------|
| IFDM-Geral         | 4.23500       | 0.04260        |
| IFDM-Educação      | 14.34300      | 0.00030        |
| IFDM-Saúde         | 143.31100     | 0.00000        |
| IFDM-Emprego&Renda | 0.15700       | <b>0.69300</b> |

H0: Não há autocorrelação serial quando os resíduos da regressão das variáveis de primeira diferença deveriam ter.

Tabela 17 - Shapiro Wilk - normalidade erros

|                    | Estadística Z | Prob>z         |
|--------------------|---------------|----------------|
| IFDM-Geral         | 4.527         | 0.00000        |
| IFDM-Educação      | 6.68          | 0.00000        |
| IFDM-Saúde         | 7.692         | 0.00000        |
| IFDM-Emprego&Renda | 4.574         | <b>0.00000</b> |

H0: Normalidade dos erros

Tabela 18 - Teste RU - Levin-Lin-Chu

|                    | Estadística | p-valor |
|--------------------|-------------|---------|
| IFDM-Geral         | -14.5846    | 0.00000 |
| IFDM-Educação      | -21.1205    | 0.00000 |
| IFDM-Saúde         | -21.7463    | 0.00000 |
| IFDM-Emprego&Renda | -13.7445    | 0.00000 |

H0: Há raiz unitária

Os resultados para EF são apresentadas a seguir.

Tabela 19 - Resultado do Modelo de Efeitos Fixos e EA no caso do IFDM-Educação

| Variáveis dependentes                  |                            |                         |                      |                           |
|--|----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| Variáveis independentes                | (1)<br>IFDM<br>Consolidado | (2)<br>IFDM<br>Educação | (3)<br>IFDM<br>Saúde | (4)<br>IFDM/<br>Emp.&Ren. |
| <b>Royalties/<br/>Receita Corrente</b> | -0.000671<br>(-0.52)       | 0.000515<br>(0.43)      | -0.00288<br>(-1.05)  | 0.00123<br>(0.26)         |
| PIB - per capita                       | 0.0117<br>(1.72)           | 0.00476<br>(1.15)       | 0.000508<br>(0.07)   | 0.0324<br>(1.55)          |
| 2005                                   | 0.0950***<br>(9.04)        | 0.110***<br>(10.60)     | 0.149***<br>(11.55)  | 0.00674<br>(0.21)         |
| 2006                                   | 0.0938***<br>(10.78)       | 0.0966***<br>(10.24)    | 0.111***<br>(8.93)   | 0.0709*<br>(2.60)         |
| 2007                                   | 0.0663***<br>(6.90)        | 0.0638***<br>(8.21)     | 0.0759***<br>(6.05)  | 0.0556<br>(1.80)          |
| 2008                                   | 0.0446***<br>(5.09)        | 0.0375***<br>(5.75)     | 0.0504***<br>(4.04)  | 0.0413<br>(1.29)          |

Tabela 19 - Resultado do Modelo de Efeitos Fixos e EA no caso do IFDM-Educação (continuação).

| Variáveis dependentes   |                            |                         |                      |                           |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|
| Variáveis independentes | (1)<br>IFDM<br>Consolidado | (2)<br>IFDM<br>Educação | (3)<br>IFDM<br>Saúde | (4)<br>IFDM/<br>Emp.&Ren. |
| 2009                    | 0.0354***<br>(4.56)        | -0.0209*<br>(-2.03)     | 0.0370**<br>(2.91)   | 0.0451<br>(1.70)          |
| 2010                    | 0.0369***<br>(4.80)        | 0.0365***<br>(6.69)     | 0.0235<br>(1.85)     | 0.0494<br>(1.97)          |
| 2011                    | 0.0248**<br>(3.12)         | 0.0230***<br>(5.71)     | 0.00867<br>(0.65)    | 0.0431<br>(1.68)          |
| 2012                    | 0.0296***<br>(4.58)        | 0.0271***<br>(6.34)     | 0.00434<br>(0.37)    | 0.0708***<br>(3.53)       |
| 2013                    | 0.0319***<br>(5.02)        | 0.0131***<br>(3.51)     | 0.0121<br>(1.19)     | 0.0869***<br>(4.30)       |
| 2014                    | 0.0597***<br>(11.91)       | 0.0147***<br>(4.31)     | 0.0159<br>(1.93)     | 0.187***<br>(11.17)       |
| 2015                    | 0.0316***<br>(7.06)        | 0.00256<br>(1.26)       | 0.00717<br>(1.22)    | 0.121***<br>(7.55)        |
| 2016                    |                            |                         |                      |                           |
| Grandes                 | -0.00210<br>(-0.16)        | -0.000380<br>(-0.04)    | 0.0183<br>(0.92)     | -0.0391<br>(-0.88)        |
| Cons                    | -0.0953<br>(-1.33)         | -0.0163<br>(-0.36)      | 0.0159<br>(0.20)     | -0.330<br>(-1.46)         |
| r <sup>2</sup>          | 0.251                      |                         | 0.357                | 0.154                     |
| N                       | 978                        | 978                     | 978                  | 978                       |

Obs.: \*Significativo a 5%, \*\*significativo a 1% e \*\*\* significativo a 0,1. Estatística t em parênteses.

Os resultados foram similares aos exibidos com os regressores de royalties per capita. A variável de interesse foi Royalties + Participações Especiais, normalizada pela receita corrente dos municípios. Os parâmetros não foram significativos em nenhum dos quatro ajustes escolhidos. Conclui-se que a dependência de recursos provenientes da atividade petrolífera não acarreta nenhum impacto significativo no progresso dos indicadores de desenvolvimento social, como Educação, Saúde, Emprego & Renda.

Os resultados de ambos os ajustes se contrapõem aos aspectos teóricos, embora estejam de acordo com a literatura, segundo a qual, o aumento das receitas provenientes do petróleo não exerce impactos significativamente positivos sobre o avanço de indicadores sociais. Resultados similares foram encontrados em Gomes (2007), Patrão (2004), Caçador e Monte (2013) Braga et al. (2005), Tavares e

Almeida (2014), entre outros. Os resultados também foram os mesmos em relação ao trabalho de Postali e Nishijima (2011).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como os municípios possuem, constitucionalmente, o direito de auferir rendas sobre a atividade petrolífera, são compelidos a investir esses recursos no progresso do bem-estar da sociedade. Com o forte aumento das rendas na última década, torna-se imperativo avaliar se esses recursos estão se projetando nesse sentido. Sendo assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar se há impactos significativos nos indicadores sociais dos municípios fluminenses, com o aumento das receitas provenientes da produção e exploração do petróleo.

Os resultados obtidos dão evidências para afirmar que o indicador de desenvolvimento municipal, IFDM-Geral, assim como seus três componentes que mensuram Educação, Saúde e Emprego & Renda, não respondem significativamente, em relação à média nacional, ao aumento das receitas do petróleo, tanto em termos de abundância dos recursos - Royalties + Participações Especiais controlado pela população -, como para o indicador de dependência em relação aos recursos - Royalties + Participações Especiais controlado pela Receita Corrente dos Municípios.

Os resultados, que convergem com a literatura, contribuem para o debate, no sentido de que mesmo com o avanço proporcionado pelas Leis n. 12.351/10, n. 12.858/13 e pela preponderância que as receitas oriundas do pré-sal vêm adquirindo, ainda não é possível encontrar evidências significativas de que esses investimentos estão sendo aplicados de forma profícuas nas áreas sociais, o que leva ao questionamento sobre as regras de distribuição vigentes. As evidências convergem com os argumentos de que os recursos obtidos pela produção de petróleo não foram capazes de impulsionar o desenvolvimento econômico e social.

Ressalta-se que o pagamento de royalties é legítimo e fundamental, porém um aperfeiçoamento é necessário. Pode-se retomar a crítica feita por Serra (2007) acerca das regras de distribuição das rendas. O autor sugere que os critérios de distribuição deveriam se basear principalmente nos efeitos socioeconômicos produzidos sobre cada um deles, promover políticas regionais compensatórias, compensar os beneficiários pelos aspectos negativos causados pela exploração desses recursos e avançar para o processo de descentralização fiscal, ao invés da opção pela promoção da justiça intergeracional (SERRA, 2007). Defende-se o pagamento das rendas, todavia, critérios fundamentais deveriam ser introduzidos nas regras, como o de difusão espa-

cial (SERRA, 2003).

A limitação dos dados é uma séria restrição que a pesquisa encontrou, entretanto, abre caminho para estudos futuros que consigam captar os efeitos mais recentes e possa incluir novos indicadores em outras áreas geográficas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: < <https://www.gov.br/anp/pt-br> >. Acesso em: 22 jan. 2021a.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário estatístico 2015/20. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/publicacoes> >. Acesso em: 22 jan. 2021b.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Manual de cálculo dos royalties SPG vol. - ix. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/royalties-e-outras-participacoes/manuais>>. Acesso em: 03 dez. 2017

AUTY, R. M. Sustaining development in mineral economies: the resource curse thesis. New York: Oxford University Press, 1993. 283p.

AUTY, R. M. The political economy of resource-driven growth. European economic review, v. 45, p. 839-846, mai. 2001a.

AUTY, R. M. Resource abundance and economic development. Oxford University Press USA - OSO, 2001b. 357p.

BALTAGI, Badi H. Econometric Analysis of Panel Data. 3ª. Edição. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005.

BRAGA, R. L. A. R.; CORREIA, J. S. S. ; VIANA, M. de O. et al. A Avaliação dos impactos dos royalties no desenvolvimento dos municípios da Bacia do Recôncavo. In: Congresso Brasileiro em P&D em petróleo e gás, 2005, Salvador. Anais do 3º Congresso brasileiro em P&D em petróleo e gás, 2005.

CAÇADOR, S. B.; MONTE, E. Z. . Impactos dos royalties do petróleo nos indicadores de desenvolvimento dos municípios do Espírito Santo. Interações (UCDB), v. 14, p. 267-278, 2013.

FIRJAN, 2015. Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal. Nota metodológica. Disponível em <<http://www.firjan.com.br/ifdm/downloads/>> Acesso em: 03 dez. 2017.

FIRJAN. Índice firjan de desenvolvimento municipal (ifdm). Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/ifdm/consulta-ao-indice/>>. Acesso em: 03 dez. 2017.

FRISCHTAK, C.; BELLUZZO, L. G. M. Produção de Commodities e Desenvolvimento Econômico: uma introdução. In: BELLUZZO, L. G. M.; FRISCHTAK, C.; LAPLANE, M. (Orgs.). Produção de Commodities e Desenvolvimento Econômico. Campinas: UNICAMP, 2014. p. 9-20.

GOMES, R S. A influência dos royalties de petróleo no gasto social: o caso dos municípios do Estado do Rio de Janeiro. (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro, 2007.

HARTWICK, J.M. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review* 67, nº 5, dez., /1977, 972-974.

HOTELLING, H. The economics of exhaustible resources. *Journal of Political Economy*, Abr., 1931, pp.137-175.

HUMPHREYS, M.; SACHS, J. D.; STIGLITZ, J.E. Escaping the Resource Curse. New York: Columbia University Press, 2007, 440p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 03 dez. 2017.

LADERMAN, D.; MALONEY, W. F. Natural resources: neither curse nor destiny. In: LADERMAN, D.; MALONEY, W.F. (Eds.) *Natural Resources: Neither curse nor destiny: introduction to natural resources and development*. Washington DC: The World Bank and Stanford University Press, 2007. p. 1-12.

MENDES, G.; FRANÇA, V. L. A. Petróleo, Royalties e Pobreza. *Geotextos* (Salvador), v. 5, p. 143-164, 2009.

PATRÃO, C. N. Um estudo dos Royalties do Petróleo: impactos sobre indicadores sociais nos municípios do Rio de Janeiro. Universidade Candido Mendes (Dissertação de Mestrado). Rio de Janeiro, 2004.

POSTALI, F. A. S. ; Nishijima, M. Distribuição das rendas do petróleo e indicadores de desenvolvimento municipal no Brasil nos anos 2000. *Estudos Econômicos* (São Paulo. Impresso), v. 41, p. 463-485, 2011.

SACHS, J. D.; WARNER, A. M. Natural resource abundance and economic growth. Cambridge: NBER, Working Paper, 5398, 1995.

SACHS, J. D.; WARNER, A. M. The big push, natural resource booms and growth. *Journal of Development Economics*, v. 59, p. 43-76, jun. 1999.

SACHS, J. D.; WARNER, A. M. The curse of natural resources. *European Economic Review*, v. 45, p. 827-838, May. 2001.

SERRA, R.V. Desdobramento espacial da exploração e produção de petróleo no Brasil: em busca de um nexo para a distribuição dos royalties entre os Municípios. Belo Horizonte: X ENANPUR, 2003.

SERRA, R. V. O sequestro das rendas petrolíferas pelo poder local: a gênese das quase sortudas regiões produtoras. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 9, 2007, p. 101-114.

STIJNS, J-P. Natural resource abundance and economic growth revisited. *Resources Policy*, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 107–130, jun. 2005.

TAVARES, F. S.; ALMEIDA, A. N. de . Os impactos dos royalties do petróleo em gastos sociais do Brasil: Uma análise usando Propensity Score Matching. *Revista Economia & Tecnologia (RET)*, v. 10, p. 93-106, 2014.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introdução a econometria: uma abordagem moderna*. São Paulo, SP: Thomson, 2006.

## ARCABOUÇO REGULATÓRIO E DIRETRIZES DE POLÍTICAS: OS DESAFIOS PARA A REGULAMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS DE AVIAÇÃO *DROP-IN*

Gustavo Alves Soares<sup>1</sup>  
Helder Queiroz Pinto Jr<sup>1</sup>  
José Vitor Bomtempo Martins<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro

DOI: 10.47168/rbe.v27i1.494

### RESUMO

Por serem combustíveis *drop-in*, a disseminação dos combustíveis sustentáveis de aviação enfrenta, além dos elevados custos de produção, dificuldades relacionadas à conciliação de diversas rotas de produção em uma mesma infraestrutura e ao cumprimento de uma rigorosa certificação internacional. Essas dificuldades exigem que a regulação e as políticas sobre os combustíveis sustentáveis de aviação sejam sensíveis às características das diferentes rotas de produção, que geram combustíveis com propriedades ambientais distintas, e permitam que os combustíveis sejam comercializados sem que haja perda das propriedades necessárias ao longo da cadeia. As principais dificuldades encontradas referem-se ao estabelecimento de tributação diferenciada que acompanhe os diferentes combustíveis ao longo da cadeia, à exigência de grande escala produtiva para conseguir a certificação internacional, à elevada concentração no mercado do QAV-1 e à inviabilidade de implementar mandatos obrigatórios de combustíveis sustentáveis de aviação.

Palavras-chave: Combustíveis sustentáveis de aviação, Regulação, Combustíveis *drop-in*.

### ABSTRACT

As drop-ins fuels, the spread of sustainable aviation fuels faces difficulties related to the conciliation of several technological routes in the same infrastructure and the compliance of rigorous international certification. These difficulties require regulation and policies on sustainable aviation fuels to be sensitive to the characteristics of different technological routes, which generate fuels with distinct environmental properties, and allow the transportation of the fuel along the supply chain without loss of properties. The main difficulties are the establishment of differentiated taxation that accompanies the different fuels along the chain, dealing



with an international certification that requires large productive scale, a high concentration in the JET-A market and the impossibility of implementing mandatory mandates for sustainable aviation fuels.

Keywords: Sustainable aviation fuels, Regulation, Drop-ins fuels.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de conciliação entre os objetivos de segurança energética e de redução de emissões de gases de efeito estufa constitui o ponto focal dos debates atuais sobre política energética. O processo de transformação em curso do setor de energia, caracterizado por muitos como “transição energética”, tem permitido a ampliação do leque de inovações tecnológicas de processos, de equipamentos e de novos combustíveis.

Desse modo, o arcabouço regulatório do setor energético em diferentes países, bem como as estratégias das empresas de energia, estão sendo progressivamente reorientadas a fim de atingir, no longo prazo, padrões de produção e uso de energia que levem em consideração estas novas condições de contorno do setor de energia. O componente tecnológico surge como principal vetor desta transição energética, acrescentando ao processo diversas incertezas pois, como menciona Helm (2016, p. 199), *“it is impossible to know in advance what technologies will be successful. It is in the nature of technical progress that there will be surprises. If we had the knowledge to predict, we would have the technologies already”*.

O setor de transporte não está isento dos impactos produzidos por estas tendências. No caso do transporte automotivo, muito embora não seja possível antecipar a velocidade de penetração de veículos elétricos, nem tampouco seu papel na mudança estrutural da frota de veículos, a comercialização e os incentivos governamentais aos veículos elétricos têm sido crescentes (RIETMANN; LIEVEN, 2019).

Já no setor de transporte aéreo as alternativas de eletrificação ainda parecem distantes (BP, 2020; CHIARAMONTI, 2019). Entretanto, processos de inovação para o desenvolvimento de novos combustíveis que possam substituir o querosene de aviação estão em curso e revelam-se como a alternativa, em curto e médio prazo, para a descarbonização do setor (KALTSCHMITT; NEULING, 2018).

Ademais, a indústria de aviação está comprometida com a redução de emissões de gases de efeito estufa. Tal comprometimento já orienta uma série de iniciativas que incentivam a produção e o uso de *sustainable aviation fuels*<sup>1</sup> (SAF). Em particular, destaca-se o *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSA),

---

1 Combustível sustentável de aviação

implementado pela Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO, 2017).

O CORSIA traça metas individuais de emissões de gases de efeito estufa para as empresas aéreas em voos internacionais. Empresas que ultrapassarem suas metas podem comprar créditos de carbono para compensar seu excesso de emissões. O objetivo do programa é evitar emissões acima dos níveis observados na média entre os anos de 2019 e 2020 (ICAO, 2017). O programa será implementado em três fases, sendo que as duas primeiras, que se estendem entre os anos de 2021 e 2026, são de participação voluntária dos países (ICAO, 2017).

Os voos comerciais que utilizam SAF alcançaram a marca dos trezentos mil, em 2020, e há, atualmente, diversas rotas internacionais e nacionais, sobretudo na Europa e nos Estados Unidos, nas quais as empresas aéreas utilizam os SAF regularmente<sup>1</sup> (ICAO, 2021a). O Brasil, mesmo sendo um grande produtor de biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, tem tido uma participação muito incipiente no desenvolvimento da produção dos SAF (YOSHINAGA et al., 2020), limitando-se apenas à realização de alguns voos testes com o uso deles (JORNAL DA BIOENERGIA, 2019).

Apesar dos esforços para a disseminação dos SAF no mundo, a utilização destes ainda permanece insignificante na matriz energética do setor de transporte aéreo. Em geral, credita-se à baixa maturidade tecnológica de algumas das rotas de produção e aos elevados custos dos SAF a causa desta reduzida disseminação (CHIARAMONTI, 2019). Contudo, o fato dos SAF serem essencialmente combustíveis *drop-in*, dada a necessidade de padronização na qualidade dos combustíveis em voos internacionais, e seguirem uma rígida certificação internacional, dificulta o desenho de um arcabouço regulatório e a construção de uma cadeia de abastecimento que comporte o uso de distintas rotas de produção.

O objetivo deste artigo é examinar de que maneira as dificuldades em produzir um combustível *drop-in* de aceitação internacional estão presentes e como elas se manifestam no desenho de um arcabouço regulatório no país. Para tal o artigo se divide em mais quatro seções, além desta introdução. A seção 2 descreverá algumas características dos SAF e os processos necessários para a sua certificação. Na seção 3 serão apresentadas as principais características do mercado de combustíveis de aviação (tradicionais e alternativos) no Brasil, com foco na regulação do setor. O artigo examina, na seção 4, as dificuldades que os agentes envolvidos com o desenvolvimentos dos SAF precisam lidar pelo fato deles serem combustíveis *drop-in*. Por fim, são apresentadas as conclusões na seção 5.

---

<sup>1</sup> É possível acompanhar voos, em tempo real, que utilizam combustíveis de aviação sustentáveis pelo site: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/default.aspx>

## 2. PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS SINTÉTICOS DE AVIAÇÃO

Os SAF enfrentam diversos desafios para o seu desenvolvimento, sendo um deles a necessidade de atender uma rigorosa padronização para combustíveis sintéticos determinada internacionalmente. Cabe ressaltar que o rigor na busca de padronização nas características químicas e físicas também recai no tradicional querosene de aviação (QAV-1), derivado do petróleo, uma vez que é preciso garantir que as aeronaves em voos internacionais possam contar com combustíveis que ofereçam a mesma performance, independente do país onde abasteçam (KALTSCHMITT; NEULING, 2018).

Contudo o processo de certificação para os combustíveis sintéticos, os quais incluem os SAF, é mais complexo pois tem como objetivo garantir que os combustíveis de aviação produzidos com o uso de diversas matérias-primas, que não o petróleo, e com técnicas de produção inovadoras, possuam características semelhantes ao QAV-1. Quer dizer, os SAF são necessariamente um combustível *drop-in* (DOE, 2017).

Existem diversos processos internacionais de certificação de combustíveis, e o mais aceito destes é o processo da American Society for Testing and Materials (ASTM) (RUMIZEN, 2018). No caso da certificação do QAV-1, as especificações aceitas internacionalmente, inclusive no Brasil, são definidas pela norma ASTM D1655. Para o caso dos combustíveis alternativos sintéticos, uma nova especificação, a ASTM D7566<sup>1</sup>, foi necessária para lidar com as dificuldades inerentes do uso de múltiplas matérias-primas e rotas de conversão (RUMIZEN, 2018). A ASTM D7566 foi emitida em 2009 e é estruturada em anexos. Cada um deles representa uma diferente rota de produção de combustível sintético com base em um escopo de matérias-primas. Além das características físico-químicas, a especificação também define o percentual máximo de combustível alternativo que pode ser misturado ao combustível tradicional (RUMIZEN, 2018). Atualmente, há sete anexos na ASTM D7566, como mostra a Tabela 1.

Ressalta-se que a utilização dos combustíveis alternativos só pode ser realizada mediante mistura com o combustível tradicional pois, mesmo sendo produtos *drop-in*, os novos combustíveis carecem de algumas especificações contidas nos hidrocarbonetos e, portanto, apenas por meio da mistura que o combustível atinge todas as especificações necessárias e passa ser incluído na ASTM D1665 (PECHSTEIN; ZSCHOCKE, 2018). A certificação de novos combustíveis alternativos e a consequente criação de um novo anexo na ASTM D7566 é

---

<sup>1</sup> Chamada de Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons

possível mediante a realização de baterias de teste, com o objetivo de avaliar em que medida o novo combustível pode ser usado pelos equipamentos aeronáuticos sem prejuízo de uso (DOE, 2017). Não é necessário que o novo combustível seja idêntico ao QAV-1, mas sim um que possa ser misturado ao QAV-1 e utilizado sem perda de eficiência nos equipamentos feitos para o mesmo (PECHSTEIN; ZSCHOCKE, 2018).

A ASTM também desenvolveu procedimentos a serem seguidos pelo produtor desenvolvedor de um combustível alternativo com vistas a sua incorporação na ASTM D7566. O conjunto desses procedimentos encontra-se no processo denominado ASTM D4054, um processo interativo e iterativo que exige do produtor do SAF testes abrangendo propriedades básicas de especificação, propriedades de adequação de finalidade e testes em motores e em componentes (DOE, 2017).

Tabela 1 - Rotas de conversão e porcentagem máxima de mistura de SAF, definidas nos anexos da ASTM D7566 (ICAO, 2021b)

| Anexo   | Ano  | Rota de conversão  | % máxima de mistura | Matérias-primas possíveis                 |
|---------|------|--|---------------------|---|
| Anexo 1 | 2009 | Querosene parafínico sintetizado hidroprocessado Fischer-Tropsch (FT)  | 50%                 | Carvão, gás natural e biomassa            |
| Anexo 2 | 2011 | Querosene parafínico sintetizado a partir de ésteres hidroprocessados e ácidos graxos (HEFA)                           | 50%                 | Bio-óleo, gordura animal e óleo reciclado |
| Anexo 3 | 2014 | Isoparafinas sintetizadas a partir de açúcares fermentados hidroprocessados (SIP)                                      | 10%                 | Biomassa                                  |
| Anexo 4 | 2015 | Querosene sintetizado com aromáticos derivados por alquilação de aromáticos leves de fontes não petrolíferas (FT-SKA)  | 50%                 | Carvão, gás natural e biomassa            |
| Anexo 5 | 2016 | Álcool para querosene parafínico sintético (AJT)   | 50%                 | Etanol e isobutanol                       |
| Anexo 6 | 2020 | Combustível de hidrotermólise catalítica (CHJ)   | 50%                 | Óleo vegetal                              |
| Anexo 7 | 2020 | Querosene parafínico sintetizado a partir de ésteres hidroprocessados de hidrocarbonetos e ácidos graxos (HC-HEFA-SPK) | 10%                 | Algas                                     |

Tais processos são rigorosos e requerem atuação conjunta entre os desenvolvedores dos combustíveis e entre laboratórios, universidades e fabricantes de equipamentos aeronáuticos (CAAFI, 2018).

A Figura 1 apresenta os procedimentos definidos na ASTM D4054. A aprovação de um SAF é feita em duas etapas principais, cada uma dividida em dois estágios.

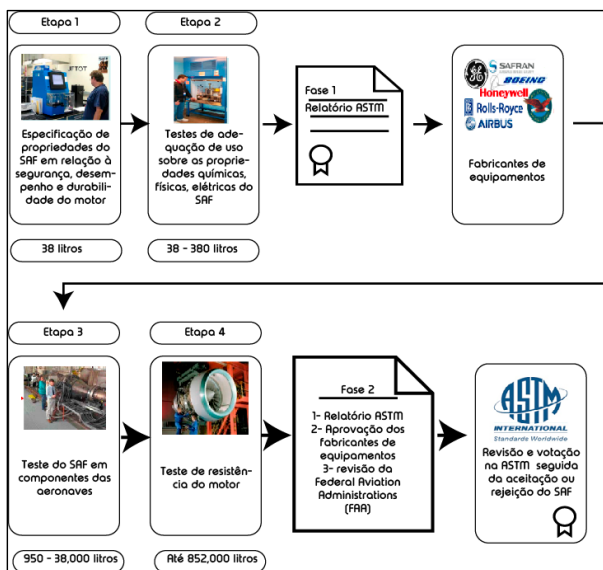


Figura 1- Etapas do processo de certificação de um novo combustível sintético (adaptação de Ascent, 2020).

O processo ASTM D4054 não visa apenas certificar um produto, e seu objetivo também é certificar o processo de produção de um SAF (ASCENT, 2020; BRUCE et al., 2020). Quer dizer, busca-se assegurar que, conforme a nova tecnologia de produção do SAF ganhe escala, as características do produto final sejam mantidas. Não é por outro motivo que durante as diferentes etapas do processo de certificação, as exigências de quantidades produzidas aumentam de forma significativa, como observado na Figura 1. As exigências de grandes escalas produtivas durante o processo de certificação constitui uma grande barreira, principalmente para as pequenas empresas, pois há a necessidade de vultuosos investimentos, inclusive em capacidade produtiva, em processos que levam anos e com o risco de o combustível alternativo não ser aceito (BRUCE et al., 2020; HEYNE et al., 2021).

### 3. REGULAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS DE AVIAÇÃO NO BRASIL

#### 3.1 Cadeia e regulação dos combustíveis de aviação tradicionais

A Lei 9.478 de 1997, conhecida como Lei do Petróleo, foi um marco no desenvolvimento da exploração e produção do petróleo e do gás natural, assim como no desenvolvimento da cadeia de seus derivados. Ela foi responsável pela liberalização do setor e quebra legal do monopólio da Petrobras ao longo de toda cadeia de petróleo e gás. Ela também criou a Agência Nacional do Petróleo (ANP), que passou a ser o órgão responsável por regular as atividades do setor.

Em relação aos combustíveis, entre eles os combustíveis de aviação, cabe à ANP definir as regras sobre a sua comercialização, especificidades química/físicas e fiscalização. Além disso, a ANP é um dos órgãos incumbidos de pôr em prática as resoluções do Conselho Nacional de Política Energética que, dentre suas atribuições, visa promover novos mercados, valorizar os recursos energéticos e incentivar combustíveis alternativos. Em função do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, 2005, a Lei 12.490 ampliou as atribuições da ANP, que passou a atuar também na cadeia de biocombustíveis, incluindo aqueles destinados à aviação.

As regras para a comercialização do QAV-1 são também determinadas pela ANP. Atualmente, a Resolução ANP nº 778 de 2019 determina as normas técnicas e de controle de qualidade ao longo da cadeia de fornecimento dos combustíveis de aviação (ANP, 2019). As resoluções ANP nº 17 e 18 de 2006 regem o comportamento dos agentes de distribuição e de revenda, respectivamente (ANP, 2006a, 2006b). Devido ao caráter global da aviação civil, as especificações do QAV-1 são alinhadas com aquelas determinadas pelo padrão ASTM D1655, citado anteriormente (ANP, 2019). A Figura 2 ilustra a cadeia de distribuição do QAV-1, assim como os processos de teste de qualidade.

Para que o QAV-1 avance na cadeia é necessário que amostras sejam enviadas a laboratórios e firmas inspetoras autorizados pela ANP para que suas especificidades sejam comprovadas. O procedimento de controle de qualidade do QAV-1 é feito em cada elo da cadeia para evitar que o combustível sofra alguma alteração à medida que muda de agente. A regulação ainda exige que os equipamentos utilizados para transportar o QAV-1 (caminhões tanques e oleodutos) sigam determinadas especificações (ANP, 2019).

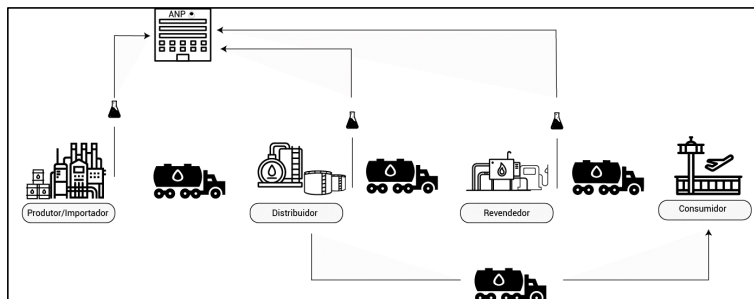


Figura 2 - Cadeia de distribuição do QAV-1

A estrutura do mercado do QAV-1 no Brasil é altamente concentrada. Em 2020, a Petrobras foi a única produtora do combustível no país, e produziu cerca de 3.332 mil m<sup>3</sup> em suas refinarias (ANP, 2021a). Deste total, 7% foi produzido na RLAM, que em 2021 foi vendida pela Petrobras como parte de sua estratégia de desinvestimento (ANP, 2021a; G1, 2021).

Em 2020, o Brasil teve um saldo positivo de 666 mil m<sup>3</sup> no comércio internacional de QAV-1 (ANP, 2021b). Todavia, vale destacar que 2020 foi um ano atípico<sup>1</sup> pois, em geral, o Brasil importa mais QAV-1 do que exporta, principalmente para atender os mercados da Região Norte e Nordeste (ANP, 2021b). As importações são feitas principalmente pelo terminal de Suape, em Pernambuco, sob o controle Petrobras (MDIC, 2021). Assim, a empresa detém o monopólio da oferta de QAV-1 no Brasil (ANP, 2021c).

A distribuição do QAV-1 também é concentrada em três empresas responsáveis por 99% da distribuição do combustível; são elas a BR Distribuidora, com uma participação de 51%, em seguida vem a Raízen, com 32% do mercado e, por fim, a Air BP, com 15% (ANP, 2021c).

### 3.2 Cadeia e regulação dos combustíveis alternativos de aviação

A regulação sobre os combustíveis alternativos de aviação no Brasil inicia sua trajetória no ano de 2012 quando a ANP, órgão responsável por regular os setores de combustíveis tradicionais e biocombustíveis, abriu consulta pública para iniciar o processo de regulamentação.

<sup>1</sup> O setor de aviação foi um dos mais afetados pelos efeitos da crise desencadeada pela pandemia do coronavírus. Em virtude da queda do número de voos comerciais, o consumo de QAV-1 despencou no ano de 2020.

Em 2013, a ANP lançou a Resolução nº 20 que determinava as especificações dos combustíveis alternativos e as regras de sua comercialização.

As especificações foram alinhadas às normas internacionais, ou seja, só eram considerados combustíveis sintéticos os combustíveis presentes nos anexos da ASTM D7566. Consequentemente, não foi criado um processo de certificação nacional para novos combustíveis de aviação. Os desenvolvedores nacionais de novos combustíveis precisam recorrer ao processo de certificação citado na seção 2 deste artigo. Também não há uma resolução para o uso de combustíveis experimentais, como acontece para o caso dos combustíveis utilizados em modais terrestres que seguem a Resolução ANP nº 21 de 2016.

A Resolução ANP nº 20 de 2013 foi substituída pela Resolução ANP nº 63 de 2014. Esta manteve o alinhamento com os padrões internacionais para as especificações dos SAF como também desenhou a sua estrutura de comercialização no Brasil. Em 2019, as regras para a comercialização do QAV-1 e dos combustíveis alternativos foram reunidas na resolução 778 da ANP, que determina as obrigações de cada agente da cadeia dos combustíveis de aviação. Ao produtor de um SAF fica a responsabilidade de garantir a qualidade do produto, que deve seguir as especificações determinadas. Nesta etapa, a comercialização do SAF só é possível após a emissão do certificado de qualidade feito pela ANP. Destaca-se que o produtor deve informar as diferentes matérias-primas utilizadas e, caso seja utilizada mais de uma, a proporção de utilização de cada uma delas.

Como foi dito, o SAF não é utilizado diretamente nas aeronaves e precisa ser misturado ao QAV-1 segundo as proporções determinadas pela Resolução 778 da ANP de 2019. Os critérios seguidos pela ANP seguem os determinados pela ASTM D7566 e contemplam cinco das sete rotas certificadas pela norma (Tabela 1); os anexos mais recentes (2020) ainda não foram incluídos. No Brasil, apenas os produtores, os importadores e os distribuidores de QAV-1 podem realizar a mistura do SAF. O produtor de SAF apenas poderá ser responsável pela mistura se ele também for produtor e/ou distribuidor de QAV-1 (ANP, 2019).

Na regulação brasileira, após a realização da mistura, cria-se um novo produto, o querosene de aviação C (QAV-C). Este pode ser utilizado em qualquer infraestrutura destinada ao QAV-1, inclusive, pode ser misturado a mais quantidades deste ao longo da cadeia. Todavia, é negada a mistura de outros combustíveis alternativos ao QAV-C e também é vedada a mistura de diferentes QAV-C ao longo da cadeia (ANP, 2019).

Tanto o produtor quanto o distribuidor de QAV-1, após a mistura com o combustível alternativo, precisam também certificar o QAV-C



para garantir as especificações necessárias. O distribuidor pode comercializar o QAV-C diretamente com o consumidor final. Também é permitida a venda entre distribuidoras e para um revendedor (ANP, 2019). Vale reafirmar que o QAV-C pode ser utilizado na infraestrutura existente para o QAV-1. Nesse sentido, tanto o distribuidor quanto o revendedor seguem as resolução nº 17 e 18 de 2006, destacadas acima. A Figura 3 apresenta a estrutura da cadeia de distribuição dos SAF.

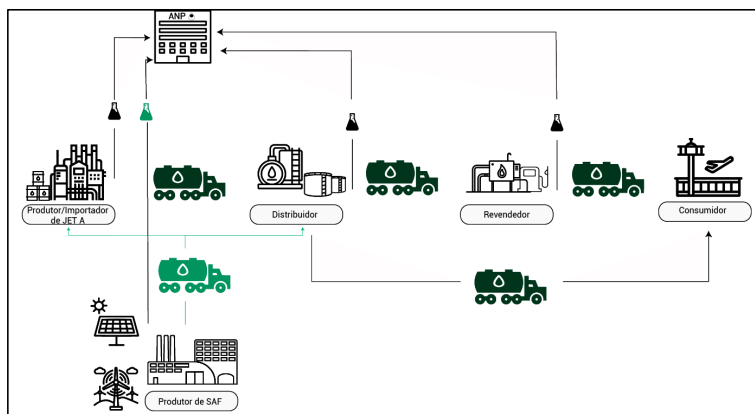


Figura 3 - Cadeia de distribuição dos combustíveis de aviação alternativos

No Brasil, também há o uso de combustíveis não *drop-in* na aviação, como é o caso da utilização do etanol. O baixo preço do etanol frente aos tradicionais combustíveis de aviação despertou o interesse de alguns operadores de aviões, principalmente os prestadores de serviços agrícolas, em utilizar o combustível em suas aeronaves (SOUZA, 2020). Por se tratar de um combustível não *drop-in*, a lógica da utilização do etanol como combustível de aviação seguiu uma relação inversa. Isto é, em vez de se adaptar os combustíveis à infraestrutura e às aeronaves, busca-se a criação de aviões capazes de operar com etanol e a adaptação de motores de aviões tradicionais para que também possam operar com o etanol.

No caso brasileiro, em 2011 foi redigida pela ANAC a Instrução Suplementar (IS) nº 137.201-001 que indica as condições aceitáveis de utilização do etanol como combustível de aviação. Na IS são descritas as características necessárias às aeronaves que operam com o etanol, assim como regras de voo. Cabe ressaltar que o etanol atende um mercado de nicho, especificamente a aviação agrícola, onde as normas

de voos são restritas e impede que a aeronave voe sobre regiões densamente povoadas, por exemplo (ANAC, 2020).

#### **4. O ATUAL PANORAMA DA COMERCIALIZAÇÃO DOS SAF: UMA DISCUSSÃO SOBRE AS DIFICULDADES REGULATÓRIAS DE DISSEMINAÇÃO DOS SAF NO BRASIL**

Desde 2010 uma série de voos com o uso de SAF foram realizados no Brasil. Destaca-se o ano de 2014 quando, em virtude da Copa do Mundo, a GOL realizou de forma sistemática mais de trezentos voos com o uso de querosene derivado do óleo de milho (RI-BEIRO, 2019). Porém, esses combustíveis não foram provenientes de uma produção em larga escala e muito menos puderam contar com uma infraestrutura de abastecimento. Os combustíveis renováveis foram usados em caráter experimental e seu abastecimento foi feito em forma de campanha.

A falta de capacidade produtiva de SAF no Brasil fez com que o QAV-1 ficasse fora das metas do RenovaBio<sup>1</sup>, programa nacional, implementado em 2017, que visa promover a produção de biocombustíveis e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. No RenovaBio, as distribuidoras necessitam comprar créditos de carbono, chamados CBIOS, para cumprir suas metas de descarbonização. As metas são estabelecidas anualmente com base nas vendas de combustíveis fósseis da distribuidora no ano anterior. Caso houvesse a necessidade de compra de CBIOS referentes às vendas de QAV-1, seria observado apenas o aumento do preço deste combustível sem haver contrapartida na produção e nos preços dos SAF.

Mesmo assim, o RenovaBio incentiva os SAF pois a sua produção gera CBIOS proporcionais aos seus benefícios ambientais relativos ao QAV-1. Até o momento, apenas uma rota, a HEFA, está contemplada pelo programa segundo o Resolução ANP 758 de 2018. É possível que outras rotas sejam inseridas no programa e novos combustíveis sejam certificados. Todavia, é necessário comprovar, além de outros aspectos, que há potencial de oferta do novo combustível e cadeia produtiva organizada (ANP, 2018).

O CORSIA, apresentado na introdução do artigo, é um programa a nível internacional com o objetivo de zerar o aumento de emissões de gases de efeito estufa em voos internacionais acima dos níveis emitidos na média entre os anos de 2019 e 2020. Pelo programa, as companhias aéreas podem compensar suas emissões de carbono superiores as suas metas individuais comprando créditos de carbono,

---

<sup>1</sup> RenovaBio refere-se à Política Nacional de Biocombustíveis, instituída pela Lei nº 13.576 de 2017.

que são gerados por iniciativas de mitigação das emissões de gases de efeito estufa que sejam devidamente reconhecidas pelo CORSIA. O CORSIA teve início em 2021 e será implementado em três fases, sendo as duas primeiras de aderência voluntária dos países. Apenas em 2027 é que a participação do CORSIA será obrigatória a todos os países<sup>1</sup>. Atualmente há 81 países comprometidos em aderir de forma voluntária ao esquema e o Brasil não é um deles (ICAO, 2019).

Sobre o aspecto regulatório, a incipiência de produção e de uso dos SAF no Brasil dificulta qualquer tipo de prognóstico, visto que novos obstáculos, imperceptíveis no atual momento, devem surgir com o aumento da escala de produção. Apesar disso, o fato dos SAF serem combustíveis *drop-in*, originários de diversas rotas produtivas, e seguirem uma rígida certificação internacional, permite algumas discussões sobre possíveis dificuldades que serão enfrentadas pelos reguladores e agentes da cadeia de combustíveis de aviação.

Sobre a certificação de novos combustíveis, pouco pode ser feito pelos reguladores brasileiros, dado o caráter global dos combustíveis de aviação. Atribuir à ASTM a tarefa de certificar os novos combustíveis é lógico, visto que ela já possui aceitação mundial e seus procedimentos são de conhecimento dos agentes do setor. Os problemas relativos ao elevado custo da certificação e à impossibilidade de misturar mais de um SAF tendem a ser solucionados, à medida que a ASTM aprimora seu processo de certificação. Nesta perspectiva, ao Brasil cabe investir em laboratórios e empresas capazes de se credenciar à ASTM e de realizarem os procedimentos de certificação dos SAF em território nacional. Atualmente, apenas a Embraer demonstrou capacidades técnicas para realizar os testes presentes no D4054 (CA-AFI, 2018).

Cabe enfatizar que desenvolver uma certificação nacional para novos SAF não é factível, pois, diferente do caso do etanol, não há produção economicamente viável de combustíveis alternativos de aviação que justifique a construção de uma infraestrutura própria de abastecimento e adaptações de aeronaves. Além disso, seguir uma certificação nacional seria o mesmo que criar um combustível não *drop-in* a nível internacional, o que limitaria o uso dos SAF certificados nacionalmente a mercados de nicho nacionais.

Os benefícios ambientais dos SAF, juntamente com o início da trajetória produtiva, exigem a criação de mecanismos de incentivo que facilitem a chegada da produção em escala comercial e internalize as externalidades positivas dos SAF. O RenovaBio apresenta-se como uma ferramenta de incentivo, pois permite o produtor de SAF também lucrar com a venda de CBIOS associados ao combustível. Todavia, a

---

<sup>1</sup> Há algumas exceções que podem ficar fora do CORSIA, como pequenos países insulares.

falta de obrigatoriedade das distribuidoras em reduzir emissões relativas as suas vendas de QAV-1 reduz a eficácia do RenovaBio no estímulo aos combustíveis renováveis de aviação. Assim, a discussão sobre outras formas de incentivo torna-se um tema importante para alavancar a cadeia dos SAF no Brasil.

Isenção fiscal aos SAF e a consequente diferenciação tributária entre os SAF e o QAV-1 podem ser formas de incentivo eficientes, refletindo os benefícios ambientais dos combustíveis renováveis. Todavia, essa diferenciação requer meios para traçar a trajetória do SAF após a sua mistura pois, uma vez convertido em QAV-C e, portanto, enquadrado na norma ASTM D1665, deixa de ser possível identificar o SAF e de tributar corretamente os diferentes combustíveis (EPE, 2018). Sem mecanismos de observar a trajetória do SAF, a tributação dos combustíveis exigiria a criação de infraestrutura específica para o QAV-C e para o QAV-1, tornando os esforços em criar um produto *drop-in* em vão. Este tema já é debatido pelo governo com propostas de relacionar crédito de carbono à compra dos SAF (EPE, 2018).

Além dessa forma de incentivo, os mandatos de mistura obrigatória são instrumentos regulatórios correntemente usados para o desenvolvimento de novos produtos pois cria um ambiente protegido das leis concorrenciais, em que os produtores conseguem acessar o mercado praticando preços mais elevados que os produtos substitutos. Mas este não é um instrumento indicado para o caso dos SAF, pelo menos enquanto não houver o estabelecimento de uma indústria de SAF.

Primeiro, a imposição de mandatos mínimos, assim como as metas de redução do RenovaBio, impactariam diretamente o custo de aquisição de combustível pelo setor aéreo, cujas margens de lucro são muito estreitas. Segundo, os SAF podem ser produzidos a partir de rotas e de matérias-primas diferentes, o que, conseqüentemente, gera produtos com pegadas de carbono variadas. A imposição de um mandato não é sensível a essas diferenças, o que pode restringir a oferta dos SAF aqueles com maior maturidade na oferta de matérias-primas e nas tecnologias de conversão, como foi o caso do biodiesel no Brasil. No início do programa de biodiesel no Brasil, esperava-se que este fosse produzido a partir de ampla variedade de fontes de óleo vegetal e em todo o território brasileiro mas, atualmente, a soja e o sebo representam a quase totalidade das matérias-primas utilizadas e a produção concentra-se no eixo centro-sul do País (MUR, 2019).

Uma alternativa para desenvolver um mercado de SAF sem pressionar as já reduzidas margens das companhias aéreas é o desenvolvimento de um fundo com recursos provenientes da taxaçoão de carbono. Segundo Roitman (2018) este processo serviria como uma espécie de reciclagem dos recursos adquiridos com a taxaçoão do carbo-

no que poderiam ser destinados ao financiamento de plantas de SAF, ou subsídio à compra de SAF pelas empresas aéreas.

A estrutura monopolizada do QAV-1 sob o controle da Petrobras é um tema que também impacta no desenvolvimento dos SAF. Têm sido recorrentes as críticas sobre as políticas de preços da Petrobras e seu grande poder de decisão sobre a cadeia de petróleo e gás no Brasil (ALMEIDA et al., 2015). Assim, argumentos em defesa da saída da empresa em segmentos onde ela detém o monopólio tem ganhado força. Inclusive a própria empresa, em seu Planejamento Estratégico, tem mostrado interesse em desinvestir de alguns setores, como o de refino (PETROBRAS, 2020). Desta forma, caso se busque formas de incentivo ao SAF que utilizem instrumentos de mercado, é essencial que o mercado de combustíveis de aviação torne-se mais competitivo pois a desconcentração do refino, da importação e da distribuição, quebraria o oligopsonio na demanda de SAF, o que permitiria a prática de preços mais justos.

Contudo, vale ressaltar que a Petrobras é uma empresa estatal e, como foi observado, ela possui o monopólio da produção do QAV-1 no Brasil. Por se tratar de uma empresa de grande porte e relevância no setor de combustível de aviação, ela poderia ser utilizada, por meio do seu poder de compra, como instrumento de política para o desenvolvimento dos SAF no Brasil, seguindo assim uma lógica mais intervencionista.

Por fim, um ponto interessante é que, em um ambiente com maior penetração de SAF, a ANP seria o agente que concentraria a maior parte das ações regulatórias, principalmente por já ser o órgão responsável por regular a cadeia de QAV-1. Porém, com o avanço da descentralização produtiva, característica de muitos SAF produzidos a partir da biomassa, é essencial que a regulação atenda cada vez mais especificidades locais, para que os benefícios da descentralização sejam valorizados e impactos ambientais locais sejam reduzidos (BALDWIN; CAVE; LODGE, 2010).

## 5. CONCLUSÕES

A descarbonização do setor de transporte aéreo por meio da eletrificação das aeronaves é ainda uma realidade distante. A utilização de combustíveis de aviação renováveis e sustentáveis apresenta-se como a solução de curto e médio prazo para a transição energética deste setor. Contudo, além das dificuldades relativas aos preços elevados dos SAF e à baixa maturidade tecnológica de algumas das possíveis rotas de produção, a necessidade dos SAF serem combustíveis *drop-ins* de aceitação internacional dificulta ainda mais a sua disseminação.

O desenvolvimento de combustíveis alternativos que atinjam as propriedades mínimas necessárias para serem considerados *drop-in*, e portanto, aproveitarem a infraestrutura e equipamentos destinados ao uso do QAV-1 já é um desafio tecnológico elevado. Acrescenta-se a esse desafio a necessidade de certificação dos SAF na norma ASTM D7566 por meio de processos demorados e altamente custosos. Além de exigir a utilização de máquinas e equipamentos de laboratórios e empresas especializadas, a certificação na ASTM exige que as empresas desenvolvedoras de SAF ganhem escala produtiva antes de garantirem a certificação. Conseqüentemente, o processo de certificação inviabiliza a participação de pequenas empresas com poucos recursos financeiros.

Outro ponto importante é sobre a impossibilidade de se misturar diferentes SAF ao QAV-1. Essa exigência restringe a característica *drop-in* dos SAF uma vez que, ao longo da cadeia de distribuição dos combustíveis de aviação, é preciso evitar que diferentes SAF sejam misturados. Como a construção de infraestrutura distinta para cada mistura contendo SAF é inviável e sem sentido, há a necessidade de criação de metodologias de distribuição que organizem o fluxo dos combustíveis de aviação e que comportem as diferentes possibilidades de misturas.

Por fim, pelo fato de não ser possível a venda direta de SAF dos produtores aos consumidores finais, a estrutura de mercado dos segmentos que podem realizar a mistura dos SAF ao QAV-1 é um importante fator que impacta na decisão dos investimentos na produção dos combustíveis alternativos. Como a atual estrutura de produção e distribuição de QAV-1 é concentrada, os produtores de SAF ficariam reféns de poucas empresas para dar fim a sua produção e ficariam em desvantagem na negociação de preços, o que desestimularia investimentos na produção dos SAF.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. L. F. D. et al. Impactos da contenção dos preços de combustíveis no Brasil e opções de mecanismos de precificação. *Brazilian Journal of Political Economy*, v. 35, n. 3, p. 531–556, set. 2015.

ANAC. Instrução Suplementar no 137.201-001. 2020.

ANP. RESOLUÇÃO ANP No 17, de 26 de julho 2006a. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-17-2006-regula-o-exercicio-da-atividade-de-distribuicao-de-combustiveis-de-aviacao?origin=instituicao&q=17/2006>>. Acesso em: 9 mar. 2021.

ANP. RESOLUÇÃO No 18, de 26 de julho de de 2006b. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-18-2006-regula-o-exercicio-da-atividade-de-revenda-de-combustiveis-de-aviacao?origin=instituicao&q=18/2006>>. Acesso em: 9 mar. 2021b.

ANP. RESOLUÇÃO ANP No 758, de 23 de novembro de 2018. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-758-2018-regulamenta-a-certificacao-da-producao-ou-importacao-eficiente-de-biocombustiveis-de-que-trata-o-art-18-da-lei-no-13-576-de-26-de-dezembro-de-2017-e-o-credenciamento-de-firmas-inspetoras?origin=instituicao&q=758/2018>>. Acesso em: 9 mar. 2021.

ANP. RESOLUÇÃO ANP No 778, de cinco de abril de 2019. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-778-2019-estabelece-as-especificacoes-do-querosene-de-aviacao-querosenes-de-aviacao-alternativos-e-do-querosene-de-aviacao-c-bem-como-as-obrigacoes-quanto-ao-controle-da-qualidade-a-serem-atendidas-pelos-agentes-economicos-que-comercializam-esses-produtos-em-territorio-nacional?origin=instituicao&q=778/2019>>. Acesso em: 9 mar. 2021.

ANP. Processamento de petróleo e produção de derivados. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/processamento-de-petroleo-e-producao-de-derivados>>. Acesso em: 2 mar. 2021a.

ANP. Importações e Exportações. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/importacoes-e-exportacoes>>. Acesso em: 7 mar. 2021b.

ANP. Boletim Abastecimento em Números no 63. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletim-abastecimento-em-numeros>>. Acesso em: 7 mar. 2021c.

ASCENT. ASTM D4054 Clearinghouse. Disponível em: <<https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/192/2018/03/clearinhouse.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2021.

BALDWIN, R.; CAVE, M.; LODGE, M. The Oxford Handbook of Regulation. OUP Oxford, 2010.

BP. BP Energy Outlook 2020. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf>>. Acesso em: 1 mar. 2021.

BRUCE, S. et al. Opportunities for hydrogen in commercial aviation. CSIRO, 2020.

CHIARAMONTI, D. Sustainable Aviation Fuels: the challenge of decarbonization. *Energy Procedia, Innovative Solutions for Energy Transitions*. v. 158, p. 1202–1207, 1 fev. 2019.

DOE. Alternative Aviation Fuels: Overview of Challenges, Opportunities, and Next Steps. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/bioenergy/downloads/alternative-aviation-fuels-overview-challenges-opportunities-and-next-steps>>. Acesso em: 1 mar. 2021.

EPE. Combustível Brasil: Comitê Técnico Integrado para o Desenvolvimento do Mercado de Combustíveis, demais Derivados de Petróleo e Biocombustíveis Subcomitê de Tributação. [s.l.: s.n.].

G1. Vendida por US\$ 1,65 bilhão, Landulpho Alves é a 1ª refinaria nacional. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2021/02/08/petrobras-vende-refinaria-landulfo-alves.ghtml>>. Acesso em: 7 mar. 2021.

HEYNE, J. et al. Sustainable aviation fuel prescreening tools and procedures. *Fuel*, v. 290, p. 120004, 15 abr. 2021.

ICAO. Sustainable Aviation Fuels Guide. 2017.

ICAO. ICAO Global Framework for Aviation Alternative Fuels. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 27 fev. 2021a.

ICAO. Conversion processes. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx>>. Acesso em: 7 mar. 2021b.

JORNAL DA BIOENERGIA. Bioquerosene: produção não avança. Disponível em: <<https://www.canalbioenergia.com.br/producao-de-bioquerosene-nao-decola/>>. Acesso em: 27 fev. 2021.

MDIC. Comex Stat. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Acesso em: 7 mar. 2021.

MUR, D. C. C. Evolução e sustentabilidade do Programa de Biodiesel: um estudo comparativo entre o Brasil e a Colômbia. Tese—Brasília: UNB, 2019.

PECHSTEIN, J.; ZSCHOCKE, A. Blending of Synthetic Kerosene and Conventional Kerosene. In: NEULING, U.; KALTSCHMITT, M. (Eds.). *Biokerosene - Status and Prospects*. 1. ed. Springer, 2018. v. 1p. 665–686.

PETROBRAS. Plano Estratégico 2021-2025. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/quem-somos/plano-estrategico/>>. Acesso em: 6 mar. 2021.



RIETMANN, N.; LIEVEN, T. How policy measures succeeded to promote electric mobility – Worldwide review and outlook. *Journal of Cleaner Production*, v. 206, p. 66–75, 1 jan. 2019.

RUMIZEN, M. Aviation Biofuel Standards and Airworthiness Approval. In: KALTSCHMITT, M.; NEULING, U. (Eds.). *Biokerosene - Status and Prospects*. 1. ed. Springer, 2018. v. 1p. 639–663.

SOUZA, V. A. O uso do etanol além da aviação agrícola: Um dos caminhos para a aviação geral. *Ciências Aeronáuticas-Unisul Virtual*. 2020.

YOSHINAGA, F. et al. Bioquerosene para aviação: cenário atual e perspectivas futuras. *Bioenergia em Revista: Diálogos* (ISSN: 2236-9171), v. 10, n. 1, 4 ago. 2020.

## **AVALIAÇÃO DA COMPENSAÇÃO MÚTUA DE GERAÇÃO ENTRE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA E UM GERADOR FOTOVOLTAICO**

Rafael Deléo Oliveira<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>KMR Energia e Meio Ambiente*

DOI: 10.47168/rbe.v27i1.525

### **RESUMO**

O objetivo deste artigo foi analisar os efeitos da compensação mútua de geração durante a operação conjunta entre uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e um Gerador Fotovoltaico (GFV). As simulações indicam que pode existir complementariedade no tempo entre as gerações fotovoltaica e hidráulica. A complementariedade pode ser positiva ou negativa. A complementariedade positiva ocorre quando a quantidade de energia gerada pela operação conjunta entre os geradores é maior do que a quantidade de energia gerada pelos geradores de forma independente. Já a complementariedade negativa ocorre quando a quantidade de energia gerada pela operação conjunta dos geradores é menor do que a quantidade de energia gerada pelos geradores de forma independente. Ainda, as análises indicam que, para existir complementariedade positiva, a potência do GFV deve corresponder a um percentual da potência do gerador hidrelétrico. No caso estudado, a potência do GFV deve ser igual ou maior do que 30% da potência das turbinas da PCH (potência das turbinas: 15.000 kW). E, apesar do estudo ter utilizado dados de municípios localizados em regiões geográficas do estado de São Paulo, as análises podem ser generalizadas e aplicadas para avaliação de casos em outras regiões brasileiras mesmo que apresentem diferentes condições ambientais e climáticas.

Palavras-chave: Pequena central hidrelétrica, Gerador fotovoltaico, Operação conjunta, Eficiência energética, Fontes alternativas de energia.

### **ABSTRACT**

The purpose of this article was to analyze the effects of mutual generation compensation during the joint operation between a Small

Hydroelectric Power Plant (SHP) and a Photovoltaic Generator (GFV). The simulations indicate that there may be complementarity in time between the photovoltaic and hydraulic generations. Complementarity can be positive or negative. Positive complementarity occurs when the amount of energy generated by joint operation between generators is greater than the amount of energy generated by generators independently. Negative complementarity, on the other hand, occurs when the amount of energy generated by the joint operation of the generators is less than the amount of energy generated by the generators independently. Still, the analyzes indicate that, in order to have positive complementarity, the power of the GFV must correspond to a percentage of the power of the hydroelectric generator. In the case studied, the power of the GFV must be equal to or greater than 30% of the power of the SHP turbines (power of the turbines: 15.000 kW). And, although the study used data from municipalities located in geographic regions of the state of São Paulo, the analyzes can be generalized and applied to assess cases in other Brazilian regions, even if they present different environmental and climatic conditions.

Keywords: Small hydropower plant, Photovoltaic generator, Joint operation, Energy efficiency, Alternative energy sources.

## 1. INTRODUÇÃO

A introdução de fontes de geração intermitente, com destaque para a eólica e solar, ao parque de geração de energia elétrica de um país, traz preocupações com relação à confiabilidade, segurança e despacho de tais fontes (GLASNOVIC e MARGETA, 2009; AN et al, 2015; FANG et al, 2017).

A intermitência da fonte solar representa uma barreira para a utilização de geradores fotovoltaicos na geração de energia elétrica. Tais limitações estão relacionadas, no curto prazo, ao ciclo natural dia/noite e forte variação horária que afetam a incidência dos raios solares na superfície terrestre. Já, no longo prazo, as limitações estão relacionadas a fatores climáticos que influenciam a previsibilidade de geração nos períodos diurnos com maior nebulosidade (OLIVEIRA e VIEIRA JÚNIOR, 2011; ALENCAR et al, 2018; SILVÉRIO, 2018; INPE, 2019).

Do ponto de vista da operação, a geração utilizando fontes intermitentes não garante energia firme ao despacho requerido. Dessa forma, todo Gerador Fotovoltaico (GFV) ou Gerador Eólico (GEol) deverá estar relacionado a algum gerador hidrelétrico de mesma potência. Assim, a energia gerada, ou compensada, deve ser armazenada na forma de energia potencial no reservatório de usina hi-

drelétrica e, dessa forma, garantir uma reserva girante que possa ser despachada quando ocorrer falha ou ausência da geração intermitente (AN et al, 2015; FANG et al, 2017).

Assim, a geração fotovoltaica pode ser utilizada de forma conjunta com a geração hidrelétrica na configuração de sistema híbrido hidrelétrico-fotovoltaico. Então, os efeitos da intermitência e variabilidade horária são reduzidos através da compensação mútua entre as fontes geradoras. E, a utilização da geração fotovoltaica, de forma complementar à geração hidrelétrica, pode aumentar a disponibilidade do fornecimento de energia firme e contribuir para a regulação dos níveis dos reservatórios das usinas, principalmente no período de inverno nas regiões sul e sudeste do Brasil, devido ao histórico de baixo índice pluviométrico que caracteriza essa estação do ano (OLIVEIRA e VIEIRA JÚNIOR, 2011; ALENCAR et al, 2018; SILVÉRIO, 2018; INPE, 2019).

Destaca-se que Beluco (2001) simulou a operação conjunta de um sistema híbrido composto por um gerador hidrelétrico de 6,0 kW (quilowatt) de potência e um GFV de 8,40 kW de potência. As simulações confirmaram o efeito da complementariedade no tempo entre as duas fontes sobre o desempenho do sistema, destacando a redução do índice de falhas com o aumento da complementação entre as fontes. Além disso, evidenciou que o aumento da participação da geração fotovoltaica contribuiu para o aumento do índice de falha, dessa forma, a utilização de GFV é recomendada para situações em que a disponibilidade hídrica não é suficiente para atendimento da demanda.

Já Kougias et al (2016) estudaram a complementariedade entre uma pequena central hidrelétrica (1,50 MW – megawatt de potência) instalada no rio Rába, oeste da Hungria, e um gerador fotovoltaico de 8,0 MW. De acordo com a metodologia apresentada no estudo, a manutenção de 90% da capacidade do GFV resultou em 66,4% de aumento na complementariedade entre as fontes geradoras.

E, Alencar et al (2018) estudaram a operação conjunta de um gerador fotovoltaico de 175 MW de potência com a usina hidrelétrica de Sobradinho, composta por seis turbinas tipo Kaplan de 175 MW cada e reservatório de acumulação. A compensação mútua entre as fontes de geração permitiu a redução do consumo de água do reservatório nos momentos em que a geração fotovoltaica esteve disponível. Ainda, de acordo com o estudo, o aumento médio mensal do volume de água no reservatório foi de 2,65%, quando comparado o volume útil real do reservatório ao volume útil estimado pelo estudo.

Então, este artigo teve como objetivo analisar os efeitos da compensação mútua de geração entre uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) e um gerador fotovoltaico.

## 2. MÉTODO

Foi desenvolvida pesquisa descritiva de estudo de caso com simulação computacional. Nas simulações foram utilizados dados de insolação diária, da cidade de Presidente Prudente/SP, para determinação da quantidade de energia gerada pelo GFV. Também foram utilizadas as vazões diárias médias afluentes no reservatório da PCH Rio do Peixe, instalada no município de São José do Rio Pardo/SP, para determinação da quantidade de energia gerada pela pequena central hidrelétrica.

Os dados de insolação diária foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Enquanto os dados de vazões médias diárias afluentes ao reservatório foram obtidos com a empresa proprietária da pequena central hidrelétrica.

Assim, é apresentado o equacionamento utilizado para determinação da quantidade de energia gerada tanto pela PCH quanto pelo GFV. Estes parâmetros são utilizados durante a simulação da operação conjunta para realizar o balanço energético e determinar a complementariedade entre as fontes.

No caso das pequenas centrais hidrelétricas, o cálculo da potência gerada pode ser realizado utilizando a Equação (1) (MAUAD, 2009).

$$P = 9,81 \times \rho \times Q \times H_L \times r_t \times r_g \quad (1)$$

Sendo:

P – Potência instalada (W);

$\rho$  – Densidade da água ( $\text{kg/m}^3$  - quilograma por metro cúbico);

Q – Vazão ou descarga ( $\text{m}^3/\text{s}$  – metro cúbico por segundo);

$H_L$  – Altura de queda líquida (m – metro);

$r_t$  – Rendimento da turbina (% – porcentagem);

$r_g$  – Rendimento do gerador (% – porcentagem).

Analisando a Equação (1), observa-se que o potencial de geração de energia elétrica é função direta da vazão, ou descarga, e da altura de queda líquida da água. Estes são os parâmetros limitadores e determinantes da viabilidade ou inviabilidade da geração de energia elétrica utilizando a disponibilidade hidráulica como força motriz.

E a quantidade de energia gerada, por aproveitamento hidrelétrico, pode ser calculada utilizando a Equação (2) (MAUAD, 2009).

$$E_{gh} = P \times \Delta t \quad (2)$$

Sendo,  $E_{gh}$  a energia gerada por aproveitamento hidrelétrico (kWh – quilowatt-hora),  $P$  a potência instalada (kW), dado pela Equação (1), e  $\Delta t$  a variação de tempo (h – hora).

Já a energia possível de ser gerada pelo sistema fotovoltaico ( $E_{gGFV}$ ), em kWh, depende da potência nominal total do gerador fotovoltaico ( $P_T$ ), expressa em kW, do rendimento do inversor ( $\eta_{CC/CA}$ ), expresso em porcentagem (%), e do número de Horas de Sol Pleno (HSP), expresso em horas (h). Então, a energia gerada pelo sistema fotovoltaico pode ser calculada utilizando a Equação (3) (CRESESB, 1999; CRESESB, 2014).

$$E_{gGFV} = P_T \times HSP \times \eta_{CC/CA} \quad (3)$$

O número de HSP é equivalente à energia total diária incidente sobre a superfície inclinada em kWh/m<sup>2</sup> (quilowatt-hora por metro quadrado). Essa grandeza representa o período que a radiação solar permanece constante e igual a 1.000 W/m<sup>2</sup> (Watt por metro quadrado), resultando no equivalente da energia acumulada durante o período de insolação no local em questão (CRESESB, 1999; CRESESB, 2014).

O número de Horas de Sol Pleno pode ser calculado com o auxílio da Equação (4) (CRESESB, 1999; CRESESB, 2014).

$$HSP = \frac{H_T(\text{kWh/m}^2)}{1000 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)} \quad (4)$$

Sendo,  $H_T$  a radiação solar total incidente no plano inclinado em média diária (kWh/m<sup>2</sup>/dia – quilowatt-hora por metro quadrado por dia). A radiação solar total incidente no plano inclinado é o somatório da contribuição das radiações direta, difusa e devida ao albedo. O albedo representa parte da radiação solar que é refletida pelo ambiente

do entorno como solo, vegetação, construções, entre outros, quando a superfície coletora apresenta ângulo de inclinação com relação a horizontal.

Para o cálculo da radiação solar total incidente no plano inclinado em média diária ( $H_T$ ), expressa em MJ/m<sup>2</sup>/dia (Mega Joule por metro quadrado por dia), Duffie e Beckman (2013) propõem a Equação (5).

$$H_T = [(H - H_d) \times R_b] + \left[ H_d \times \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right] + \left[ H \times \rho_g \times \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \quad (5)$$

O valor da variável adimensional  $R_b$  corresponde à razão entre a radiação extraterrestre incidente no plano inclinado e a radiação incidente no plano horizontal. Para planos inclinados situados no hemisfério sul e alinhados com o norte geográfico ( $\gamma = 180^\circ$ ), é calculada com o auxílio da Equação (6) (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$R_b = \frac{\cos(\phi + \beta) \times \cos \delta \times \sin \omega'_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \times \omega'_s \times \sin(\phi + \beta) \times \sin \delta}{\cos \phi \times \cos \delta \times \sin \omega_s + \left( \frac{\pi}{180} \right) \times \omega_s \times \sin \phi \times \sin \delta} \quad (6)$$

Markvart e Castañer (2004) e Abrava (2008) indicam o valor para a refletância da vizinhança ( $\rho_g$ ), variável adimensional, nas proximidades do plano inclinado, como indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Refletância de materiais (adaptado)

| Superfície                         | $\rho_g$    |
|------------------------------------|-------------|
| Terra                              | 0,04        |
| Tijolo vermelho                    | 0,27        |
| Concreto (em construção urbana)    | 0,20 – 0,22 |
| Concreto (sem ação de intempéries) | 0,55        |
| Grama                              | 0,12 – 0,23 |

Tabela 1 - Refletância de materiais (adaptado) (continuação)

| Superfície                  | $\rho_g$    |
|-----------------------------|-------------|
| Gramma seca                 | 0,28 – 0,32 |
| Solo descampado             | 0,14 – 0,17 |
| Asfalto                     | 0,15        |
| Barro/argila                | 0,14        |
| Superfície construção clara | 0,60        |

O ângulo azimutal de superfície ( $Y$ ) representa o desvio da projeção no plano horizontal da normal à superfície do plano inclinado para o meridiano local, com zero para o sul, leste negativo, e oeste positivo, sendo que a variação está entre  $-180^\circ \leq Y \leq 180^\circ$  (DUFFIE e BECKMAN, 2013; CRESESEB, 2014).

Os ângulos  $\Phi$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  são definidos da seguinte forma:

- Latitude Geográfica ( $\Phi$ ): coordenada geográfica da localidade em estudo e definida na esfera ou superfície terrestre, expressa em graus e com sinal positivo para localidades do hemisfério Norte e sinal negativo para localidades do hemisfério Sul (DUFFIE e BECKMAN, 2013);
- Inclinação do plano inclinado ( $\beta$ ): ângulo formado entre o plano horizontal e o plano inclinado formado pelos módulos fotovoltaicos, expresso em graus, com valores entre  $0^\circ < \beta \leq 180^\circ$ ;  $\beta > 180^\circ$  significa que a superfície possui uma componente voltada para baixo (ABRAVA, 2008; DUFFIE e BECKMAN, 2013; CRESESEB, 2014);
- Declinação Solar ( $\delta$ ): posição angular do Sol ao meio dia solar, ou seja, quando o sol está no meridiano local, apresentando valores entre  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ , com Norte positivo; pode ser calculada pela Equação (7), conhecida como equação de Cooper, adaptada para localidades do hemisfério Sul (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$\delta = -23,45^\circ \times \sin \left( 2\pi \times \frac{284 + n}{365} \right) \quad (7)$$

Para a otimização da produção de energia elétrica em sistema fotovoltaico fixo, a inclinação dos painéis fotovoltaicos deve ser igual à latitude do local com orientação para o Norte Verdadeiro (Norte Magnético). Dessa forma, a superfície coletora permanecerá perpendicular



aos raios solares na média anual, maximizando a quantidade de energia solar incidente sobre os planos inclinados ou minimizando a influência da variação da quantidade de energia solar incidente sobre a superfície inclinada ao longo do ano (CRESESB, 2014; TOLMASQUIN, 2016).

A posição angular do sol, ou declinação solar, varia de acordo com o dia do ano, sendo que “n” representa o dia Juliano e varia de 1 (1º de janeiro) a 365 (31 de dezembro) (PEREIRA, 2005; DUFFIE e BECKMAN, 2013; CRESESB, 2014).

Já, o ângulo de hora de pôr-do-sol ( $\omega_s$ ) é calculado utilizando-se a Equação (8) (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \times \tan \delta) \quad (8)$$

Enquanto, o ângulo de hora de pôr-do-sol aparente ( $\omega'_s$ ), para a superfície inclinada, é calculado utilizando-se a Equação (9) (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$\omega'_s = \min \left[ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi + \beta) \times \tan \delta) \end{array} \right] \quad (9)$$

A radiação diária média na superfície horizontal (H), em MJ/m<sup>2</sup>/dia, é calculada utilizando-se a Equação (10) (BENNETT, 1965; TIBA, 2000; DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$H = H_0 \times \left[ a + \left( b \times \frac{n}{N} \right) + (c \times h) \right] \quad (10)$$

Sendo “h” a altura da estação de medição ou a altitude de localização do plano inclinado, medida em km (quilômetro); a, b e c são coeficientes empíricos tabelados; “n” representa a insolação diária em h/dia (hora por dia), para cada dia em específico; “N” representa a duração diária do período diurno para cada dia em específico, também medida em h/dia, e calculada com auxílio da Equação (11) (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$N = \frac{2}{15} \times \cos^{-1}(-\tan \phi \times \tan \delta) \tag{11}$$

A radiação solar extraterrestre ( $H_0$ ), expressa em MJ/m<sup>2</sup>/dia, pode ser calculada pela Equação (12) (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$H_0 = \frac{24 \times 3600 \times G_{sc}}{\pi} \times \left[ 1 + \left( 0,033 \times \cos \frac{360 \times n}{365} \right) \right] \times \left[ (\cos \phi \times \cos \delta \times \sin \omega_s) + \left( \frac{\pi \times \omega_s}{180} \times \sin \phi \times \sin \delta \right) \right] \tag{12}$$

A Constante Solar ( $G_{sc}$ ), fluxo de energia radiante, expressa em W/m<sup>2</sup>, representa o fluxo de energia radiante que incide normalmente ao plano de uma superfície situada fora da atmosfera terrestre. Dados recentes indicam valor médio de 1.367 W/m<sup>2</sup> (CRESESB, 1999; DUFFIE e BECKMAN, 2013).

O cálculo da radiação solar difusa incidente no plano inclinado em média diária ( $H_d$ ), expressa em MJ/m<sup>2</sup>/dia, é realizado com a correlação de Collares-Pereira e Rabl, expressa pela Equação (13) (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$\frac{H_d}{H} \begin{cases} 0,99 & \text{para } K_T \leq 0,17 \\ 1,188 - 2,272K_T + 9,473K_T^2 - 21,865K_T^3 + 14,648K_T^4 & \text{para } 0,17 < K_T < 0,75 \\ -0,54K_T + 0,632 & \text{para } 0,75 \leq K_T < 0,80 \\ 0,2 & \text{para } K_T \geq 0,80 \end{cases} \tag{13}$$

Sendo o índice de claridade  $K_T$  definido como a razão entre a radiação diária na superfície horizontal e a radiação solar extraterrestre para determinado dia, expresso pela Equação (14) (DUFFIE e BECKMAN, 2013).

$$K_T = \frac{H}{H_0} \tag{14}$$

### 3. PARÂMETROS E PREMISSAS DO ESTUDO DE CASO

A análise foi realizada para o período de 01/01/1998 a 31/12/2011, totalizando 5.113 dias, período selecionado por nele ocorrer a sobreposição de disponibilidade de dados do índice de insolação diária e vazões afluentes diárias no reservatório da PCH Rio do Peixe.

Os dados de insolação diária foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Foi selecionada a cidade de Presidente Prudente, por ser um dos poucos municípios no estado de São Paulo que possui estação meteorológica com registro e disponibilidade de série histórica do índice de insolação diária.

Os dados técnicos da PCH Rio do Peixe (apresentados na Tabela 2), instalada no município de São José do Rio Pardo e de propriedade do grupo CPFL Energia, foram fornecidos pela empresa proprietária através de mensagens eletrônicas. Além dos parâmetros técnicos apresentados na Tabela 2, também foram utilizados nas simulações o polinômio cota-volume do reservatório e vazões médias diárias afluentes no reservatório da PCH Rio do Peixe.

Tabela 2 - Parâmetros técnicos da PCH Rio do Peixe

|  |                    |
|--|--------------------|
| Início da operação (ano):  | 1997               |
| Área do reservatório (km <sup>2</sup> ):                             | 1,01               |
| Operação do reservatório:  | Fio d'água         |
| Nível de água (NA) máximo maximorum (m) – reservatório:              | 862,0              |
| Volume de água máximo maximorum (hm <sup>3</sup> ) – reservatório:   | 0,97               |
| NA máximo operacional (m) – reservatório:                            | 861,7              |
| Volume de água máximo operacional (hm <sup>3</sup> ) – reservatório  | 0,89               |
| NA mínimo operacional (m) – reservatório:                            | 858,0              |
| Volume de água mínimo operacional (hm <sup>3</sup> ) – reservatório: | 0,59               |
| Crista do barramento (m):  | 863,15             |
| NA máximo maximorum (m) – canal de fuga:                             | 733,0              |
| NA máximo (m) – canal de fuga:                                       | 733,0              |
| NA mínimo (m) – canal de fuga:                                       | 729,6              |
| Tipo da turbina:   | Francis horizontal |
| Potência da turbina (kW):  | 5.000              |
| Engolimento nominal por turbina (m <sup>3</sup> /s):                 | 4,43               |
| Altura líquida de queda (m):   | 122,5              |

Tabela 2 - Parâmetros técnicos da PCH Rio do Peixe (continuação)

|  |               |
|--|---------------|
| Tipo de gerador:                                       | Síncrono      |
| Rendimento da turbina (%):                             | Não informado |
| Rendimento do gerador elétrico (%):                    | Não informado |
| Nº de conjuntos turbina+gerador:                       | 3             |
| Defluência mínima (m³/s) – licença de operação CETESB: | 1,03          |
| Vertedouro – descarga máxima (m³/s):                   | 244,10        |

Além dos parâmetros e premissas já definidos é necessário definir outros parâmetros sendo:

- Latitude geográfica: 22° 07' 04" (22,11°) – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa; referente a latitude de localização da estação meteorológica no município de Presidente Prudente; expressa em graus, com sinal positivo para localidades do hemisfério Norte e sinal negativo para localidades do hemisfério Sul (DUFFIE e BECKMAN, 2013);

- Altitude: 435,55 m – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa; referente a altitude de localização da estação meteorológica na cidade de Presidente Prudente;

- Emitância de superfície (refletância de superfície): 0,12 – considerando que o terreno onde seria instalado o gerador fotovoltaico é coberto por pastagem ou formação vegetal rasteira e pequenos arbustos (MARKVART e CASTAÑER, 2003; ABRAVA 2008);

- Ângulo azimutal de superfície: 180° – para otimização de geração de energia em sistema fotovoltaico localizado no hemisfério sul, os painéis devem estar orientados para o norte (CRESESB, 1999; DUFFIE e BECHMAN, 2013; CRESESB, 2014);

- Ângulo de inclinação do plano inclinado ou ângulo de inclinação dos painéis fotovoltaicos: 22° 07' 04" (22,11°) – para a otimização da produção de energia elétrica em sistema fotovoltaico fixo, a inclinação dos painéis deve ser igual à latitude do local (CRESESB, 1999; ABRAVA, 2008; DUFFIE e BECKMAN, 2013; CRESESB, 2014);

- Rendimento do inversor ( $\eta_{CC/CA}$ ): adotado o valor de 90% (0,90); a eficiência dos inversores está na faixa de 50% a 90%, sendo que tais equipamentos devem ser projetados visando eficiência superior a 90% (CRESESB, 1999; CRESESB, 2014);

- Rendimento das turbinas hidráulicas ( $\eta_t$ ): adotado o valor de 85% (0,85); o rendimento de pequenas turbinas varia entre 70% e 85% e pode ser superior a 90% para grandes turbinas hidráulicas (MAUAD, 2009);

- Rendimento dos geradores elétricos ( $r_g$ ): adotado o valor de 90% (0,90); o rendimento de geradores elétricos varia entre 75% e 90% (MAUAD, 2009).

E, além disso, também foram adotadas as seguintes proposições para a realização das simulações:

- O turbinamento só ocorre quando o volume de água no reservatório permitir engolimento igual ou superior a vazão Q90, ou seja, engolimento igual ou superior a 2,59 m<sup>3</sup>/s;

- O turbinamento máximo admitido é igual a 13,29 m<sup>3</sup>/s, ou seja, quando as três turbinas estiverem a plena capacidade;

- Manutenção da defluência mínima de 1,03 m<sup>3</sup>/s através da comporta de fundo, localizada na cota 847,0 m, para atendimento da licença de operação emitida pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo);

- Na operação conjunta entre a PCH e o GFV, quando ocorrer geração de energia pelas duas fontes, a geração hidrelétrica será substituída pela geração fotovoltaica na mesma proporção que esta tenha injetado energia na rede;

- Potência do gerador fotovoltaico: de 1.000 kW, 1.500 kW, 2.000 kW, 2.500 kW, 3.000 kW, 3.500 kW, 4.000 kW, 4.500 kW, 5.000 kW e 5.500 kW.

Também foram consideradas três situações de operação da pequena central hidrelétrica relacionadas ao nível mínimo de água no reservatório:

1ª situação:

- Nível de água máximo maximorum de 862,0 m;
- Nível de água mínimo operacional igual a 858,0 m (limite inferior do volume útil ou limite superior do volume morto);
- Altura útil da lâmina de água igual a 4,0 m.

2ª situação:

- Nível de água máximo maximorum de 862,0 m;
- Nível de água mínimo operacional igual a 858,50 m;
- Altura útil da lâmina de água igual a 3,50 m.

3ª situação:

- Nível de água máximo maximorum de 862,0 m;
- Nível de água mínimo operacional igual a 859,0 m;
- Altura útil da lâmina de água igual a 3,0 m.

Na Figura 1 são apresentadas as vazões afluentes no reservatório da PCH Rio do Peixe, sendo 54,07 m<sup>3</sup>/s e 1,15 m<sup>3</sup>/s as vazões máximas e mínimas registradas no período de análise, respectivamente.

Na Figura 2 é apresentada a curva de permanência de vazão com indicação da vazão Q90, ou seja, em 90% do tempo as vazões afluentes para o reservatório da PCH Rio do Peixe são superiores a 2,59 m<sup>3</sup>/s.

Na Figura 3 são apresentados os valores médios diários para a radiação solar no plano inclinado, para o período de 1998 a 2011, considerando os dados do índice de insolação diária para a cidade de Presidente Prudente/SP. Observa-se que a radiação solar incidente no plano inclinado sofre pequena variação ao longo do ano. Isso é reflexo da determinação da inclinação dos painéis fotovoltaicos igual à latitude do local, proporcionando que a superfície coletora permaneça perpendicular aos raios solares na média anual, maximizando a quantidade de energia solar incidente sobre o plano inclinado.

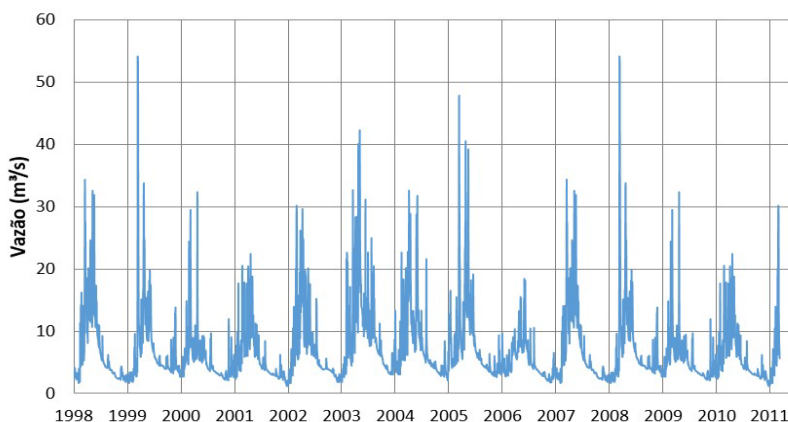


Figura 1 - Vazões diárias médias afluentes ao reservatório da PCH Rio do Peixe

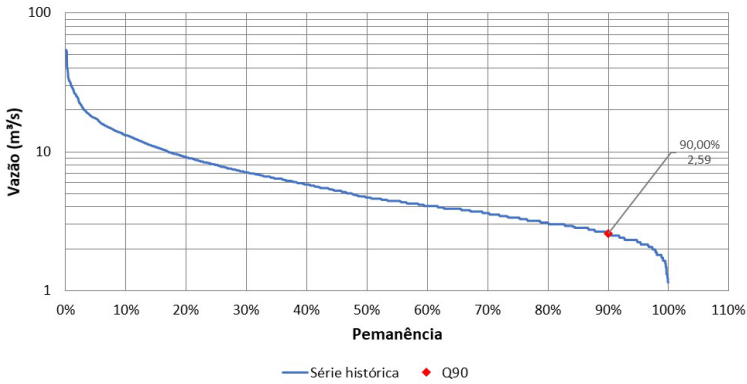


Figura 2 - Curva de permanência da vazão afluyente para a PCH Rio do Peixe

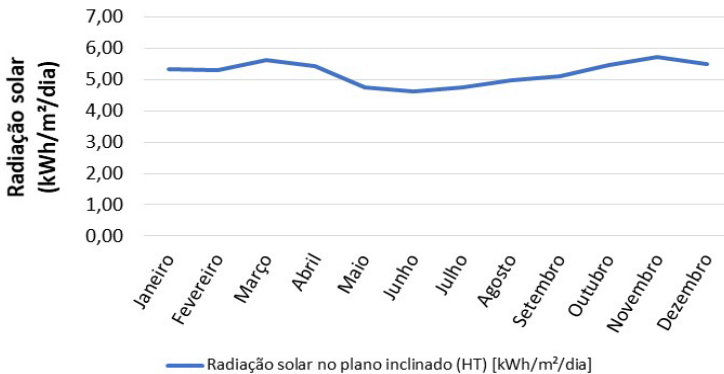


Figura 3 - Radiação solar diária média - Presidente Prudente

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 são indicadas as curvas de permanência de potência para a PCH Rio do Peixe considerando o nível de água mínimo operacional de 858,0m. A operação isolada da PCH apresentou permanência máxima de 55,74%, entregando 2,52 MW de potência. A operação conjunta com o GFV de 5.500 kW resultou em ganho de disponibilidade, sendo que a PCH apresentou permanência de 80,19%, entregando 2,49 MW de potência.

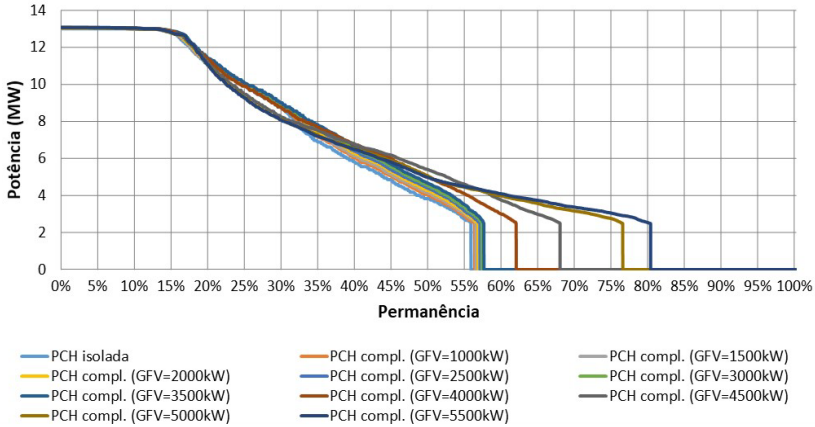


Figura 4 - Curva de permanência da potência para a PCH Rio do Peixe - cota mínima de 858,0 m

Já na Figura 5 são indicadas as curvas de permanência de potência para a PCH considerando a elevação do limite inferior do volume útil para 858,50 m. Neste caso, a operação isolada da pequena central hidrelétrica apresentou permanência máxima de 55,29%, entregando 2,58 MW de potência. A operação coordenada com o GFV de 5.500 kW elevou a permanência de geração para 79,87%, entregando 2,50 MW de potência.

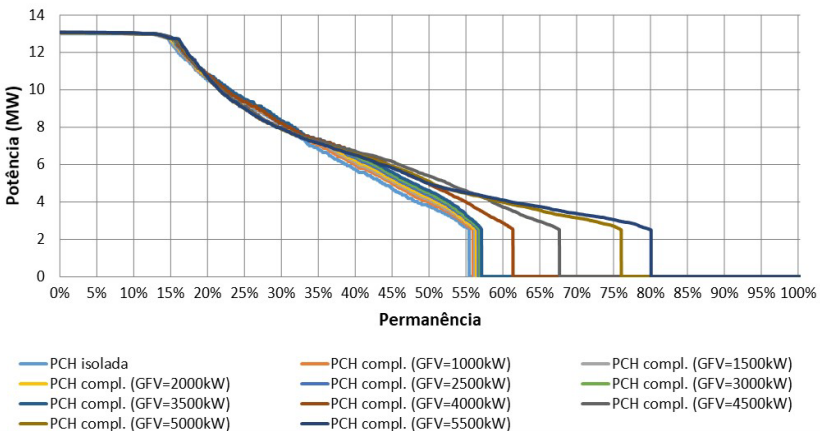


Figura 5 - Curva de permanência da potência para a PCH Rio do Peixe - cota mínima de 858,50 m



E na Figura 6 são indicadas as curvas de permanência de potência para a pequena central hidrelétrica considerando a elevação do limite superior do volume morto do reservatório em 1,0 m, de 858,0 m para 859,0 m. Neste caso, a operação isolada da pequena central hidrelétrica apresentou permanência máxima de 54,86%, entregando 2,59 MW de potência. A compensação mútua com o GFV de 5.500 kW elevou o índice para 79,56%, entregando 2,51 MW de potência.

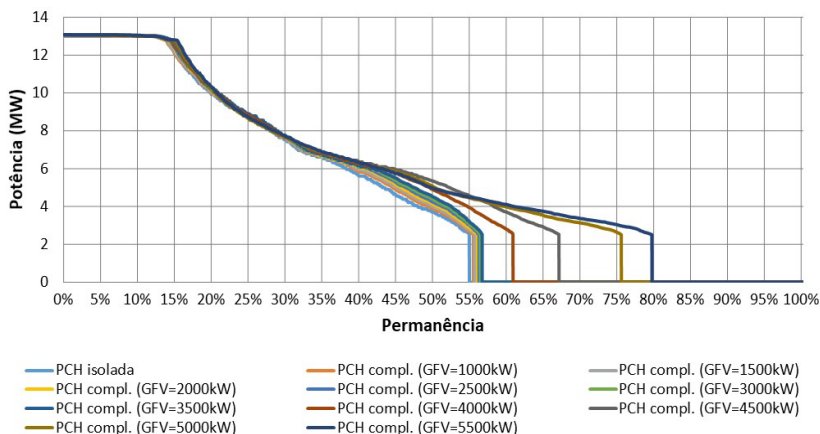


Figura 6 - Curva de permanência da potência para a PCH Rio do Peixe - cota mínima de 859,0 m

Já os dados apresentados na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, indicam que a operação conjunta do GFV com a PCH contribuiu para o aumento da energia gerada pela PCH em todos os casos. Observam-se variações positivas quando a energia gerada pela PCH de forma isolada (coluna PCH) é comparada à energia gerada pela PCH após a compensação mútua de geração (coluna PCH compl.).

Além disso, os dados apresentados mostram que, para o GFV com potência igual ou menor a 4.000 kW, a energia gerada de forma independente pela PCH e GFV (coluna PCH+GFV) é maior do que a energia gerada pela operação conjunta (coluna PCH+GFV – oper. conj.). Ainda, a partir da utilização do GFV com potência igual ou superior a 4.500 kW, a energia gerada através da compensação mútua entre a PCH e o GFV (coluna PCH+GFV – oper.conj.) é maior do que a energia gerada de forma independente pelos dois tipos de geração (coluna PCH+GFV). Ou seja, para que a compensação mútua tenha resultado positivo, a potência do GFV deve ser de no mínimo 30% da potência das turbinas da PCH (potência das turbinas: 15.000 kW).

Além do mais, observa-se que o período de operação da PCH sofreu aumento mesmo com a elevação do nível de água mínimo operacional. A Tabela 3 indica que a geração hidrelétrica passou de 2.851 dias para 4.100 (aumento de 43,81%). Já a Tabela 4 demonstra que a produção hidrelétrica passou de 2.827 dias para 4.084 (aumento de 44,46%). Enquanto a Tabela 5 mostra que a operação da PCH passou de 2.805 dias para 4.068 (aumento de 45,03%).

Mas a elevação do nível de água mínimo operacional do reservatório ocasiona perda na quantidade de energia entregue ao sistema durante a compensação mútua, reflexo do menor volume útil de água disponível para turbinamento. Durante a operação mútua entre a PCH e o GFV de 5.500 kW, com restrição do nível operacional em 858,0 m, são entregues ao sistema 749.360 MWh; esse valor é reduzido para 742.951 MWh (redução de 0,86%) para o limite inferior do volume útil em 858,50 m; e igual a 733.665 MWh (redução de 2,14%) quando o limite é estabelecido na cota de 859,0 m.

Tabela 3 - Energia gerada pela PCH Rio do Peixe (nível mínimo operacional=858,0 m) e GFV

| Potência GFV (kWp) | Energia gerada (MWh) |         |           |            |                        | Nº dias geração PCH | Reservatório    |                 | Variação energia gerada |                                   |
|--------------------|----------------------|---------|-----------|------------|------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|
|                    | PCH                  | GFV     | PCH + GFV | PCH compl. | PCH + GFV (oper.conj.) |                     | N.A. máximo (m) | N.A. mínimo (m) | PCH para PCH compl.     | PCH+GFV para PCH+GFV (oper.conj.) |
| 0                  | 601.884              | 0       | 601.884   | 601.884    | 601.884                | 2.851               | 861,21          | 856,76          | 0,00%                   | 0,00%                             |
| 1.000              | 601.884              | 24.022  | 625.906   | 611.396    | 621.818                | 2.876               | 861,43          | 856,82          | 1,58%                   | -0,65%                            |
| 1.500              | 601.884              | 36.033  | 637.917   | 615.742    | 631.315                | 2.884               | 861,52          | 856,84          | 2,30%                   | -1,03%                            |
| 2.000              | 601.884              | 48.044  | 649.925   | 622.134    | 642.682                | 2.901               | 861,61          | 856,87          | 3,36%                   | -1,11%                            |
| 2.500              | 601.884              | 60.056  | 661.940   | 627.465    | 652.992                | 2.913               | 861,69          | 856,89          | 4,25%                   | -1,35%                            |
| 3.000              | 601.884              | 72.067  | 673.951   | 633.626    | 664.148                | 2.927               | 861,76          | 856,92          | 5,27%                   | -1,45%                            |
| 3.500              | 601.884              | 84.078  | 685.962   | 639.732    | 675.221                | 2.940               | 861,82          | 856,95          | 6,29%                   | -1,57%                            |
| 4.000              | 601.884              | 96.089  | 697.973   | 659.350    | 694.546                | 3.165               | 861,86          | 856,97          | 9,55%                   | -0,49%                            |
| 4.500              | 601.884              | 108.100 | 709.984   | 684.760    | 716.857                | 3.470               | 861,89          | 857,00          | 13,77%                  | 0,97%                             |
| 5.000              | 601.884              | 120.111 | 721.995   | 710.513    | 735.665                | 3.906               | 861,91          | 857,03          | 18,05%                  | 1,89%                             |
| 5.500              | 601.884              | 132.122 | 734.006   | 726.453    | 749.360                | 4.100               | 861,92          | 857,06          | 20,70%                  | 2,09%                             |

Tabela 4 - Energia gerada pela PCH Rio do Peixe (nível água mínimo operacional=858,5 m) e GFV

| Potência GFV (kWp) | Energia gerada (MWh) |         |           |            |                        | Nº dias geração PCH | Reservatório    |                 | Variação energia gerada |                                   |
|--------------------|----------------------|---------|-----------|------------|------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|
|                    | PCH                  | GFV     | PCH + GFV | PCH compl. | PCH + GFV (oper.conj.) |                     | N.A. máximo (m) | N.A. mínimo (m) | PCH para PCH compl.     | PCH+GFV para PCH+GFV (oper.conj.) |
| 0                  | 585.997              | 0       | 585.997   | 585.997    | 588.997                | 2.827               | 861,21          | 857,34          | 0,00%                   | 0,51%                             |
| 1.000              | 585.997              | 24.022  | 610.019   | 595.897    | 606.409                | 2.854               | 861,43          | 857,39          | 1,69%                   | -0,59%                            |
| 1.500              | 585.997              | 36.033  | 622.030   | 601.050    | 616.739                | 2.867               | 861,52          | 857,41          | 2,57%                   | -0,85%                            |
| 2.000              | 585.997              | 48.044  | 634.041   | 605.198    | 626.020                | 2.878               | 861,61          | 857,44          | 3,28%                   | -1,27%                            |
| 2.500              | 585.997              | 60.056  | 646.053   | 610.613    | 636.423                | 2.891               | 861,69          | 857,47          | 4,20%                   | -1,49%                            |
| 3.000              | 585.997              | 72.067  | 658.064   | 615.298    | 646.168                | 2.902               | 861,76          | 857,49          | 5,00%                   | -1,81%                            |
| 3.500              | 585.997              | 84.078  | 670.075   | 619.992    | 655.764                | 2.913               | 861,82          | 857,52          | 5,80%                   | -2,14%                            |
| 4.000              | 585.997              | 96.089  | 682.086   | 641.211    | 677.006                | 3.130               | 861,86          | 857,54          | 9,42%                   | -0,74%                            |
| 4.500              | 585.997              | 108.100 | 694.097   | 672.775    | 705.259                | 3.451               | 861,89          | 857,57          | 14,81%                  | 1,61%                             |
| 5.000              | 585.997              | 120.111 | 706.108   | 702.177    | 727.933                | 3.878               | 861,91          | 857,60          | 19,83%                  | 3,09%                             |
| 5.500              | 585.997              | 132.122 | 718.119   | 719.627    | 742.951                | 4.084               | 861,92          | 857,63          | 22,80%                  | 3,46%                             |

Tabela 5 - Energia gerada pela PCH Rio do Peixe (nível água mínimo operacional=859,0 m) e GFV

| Potência GFV (kWp) | Energia gerada (MWh) |         |           |            |                        | Nº dias geração PCH | Reservatório    |                 | Variação energia gerada |                                   |
|--------------------|----------------------|---------|-----------|------------|------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|
|                    | PCH                  | GFV     | PCH + GFV | PCH compl. | PCH + GFV (oper.conj.) |                     | N.A. máximo (m) | N.A. mínimo (m) | PCH para PCH compl.     | PCH+GFV para PCH+GFV (oper.conj.) |
| 0                  | 568.384              | 0       | 568.384   | 568.384    | 568.384                | 2.805               | 861,21          | 857,91          | 0,00%                   | 0,00%                             |
| 1.000              | 568.384              | 24.022  | 592.406   | 576.909    | 587.518                | 2.833               | 861,43          | 857,96          | 1,50%                   | -0,83%                            |
| 1.500              | 568.384              | 36.033  | 604.417   | 580.624    | 596.460                | 2.842               | 861,52          | 857,99          | 2,15%                   | -1,32%                            |
| 2.000              | 568.384              | 48.044  | 616.428   | 586.535    | 607.456                | 2.861               | 861,61          | 858,02          | 3,19%                   | -1,46%                            |
| 2.500              | 568.384              | 60.056  | 628.440   | 590.502    | 616.494                | 2.872               | 861,69          | 858,04          | 3,89%                   | -1,90%                            |
| 3.000              | 568.384              | 72.067  | 640.451   | 593.891    | 625.078                | 2.882               | 861,76          | 858,07          | 4,49%                   | -2,40%                            |
| 3.500              | 568.384              | 84.078  | 652.462   | 598.234    | 634.399                | 2.894               | 861,82          | 858,10          | 5,25%                   | -2,77%                            |
| 4.000              | 568.384              | 96.089  | 664.473   | 621.376    | 657.667                | 3.107               | 861,86          | 858,12          | 9,32%                   | -1,02%                            |
| 4.500              | 568.384              | 108.100 | 676.484   | 656.345    | 689.371                | 3.425               | 861,89          | 858,15          | 15,48%                  | 1,90%                             |
| 5.000              | 568.384              | 120.111 | 688.495   | 689.685    | 715.891                | 3.856               | 861,91          | 858,18          | 21,34%                  | 3,98%                             |
| 5.500              | 568.384              | 132.122 | 700.506   | 709.936    | 733.665                | 4.068               | 861,92          | 858,21          | 24,90%                  | 4,73%                             |

E a Figura 7, a Figura 8 e a Figura 9 indicam as curvas de permanência do nível de água no reservatório da PCH, quando o nível de água mínimo operacional é definido para as cotas de 858,0 m, 858,50 m e 859,0 m, respectivamente.

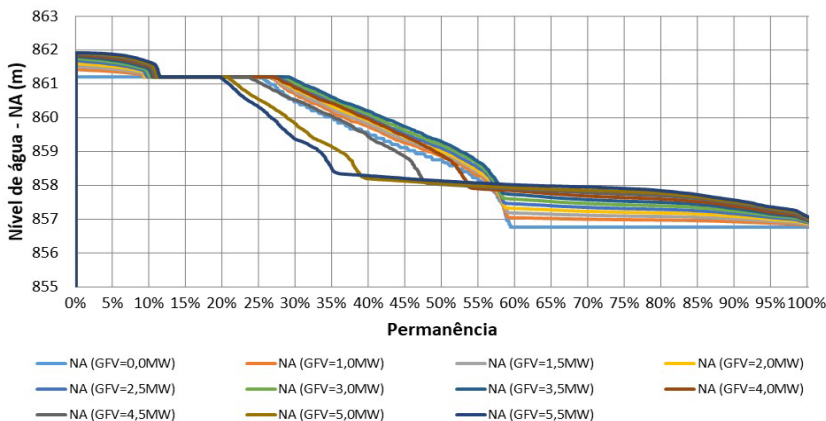


Figura 7 - Curva de permanência da potência para a PCH Rio do Peixe (cota mín. = 858,0m)

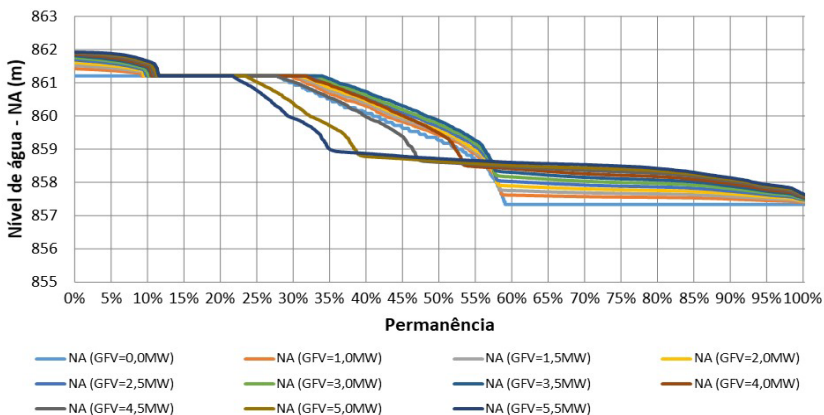


Figura 8 - Curva de permanência da potência para a PCH Rio do Peixe (cota mín. = 858,50 m)

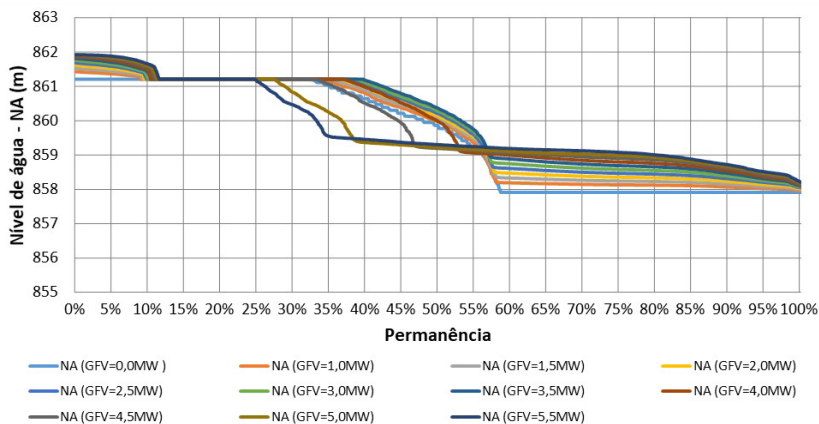


Figura 9 - Curva de permanência da potência para a PCH Rio do Peixe (cota mín. = 859,0 m)

Deve-se observar que nos momentos em que o nível de água do reservatório atinge o nível mínimo operacional, a operação da PCH é cessada. Mas existe a manutenção da defluência mínima ( $1,03 \text{ m}^3/\text{s}$ ) que ocorre pela comporta de fundo, localizada na cota 847,0 m, para atendimento da licença de operação emitida pela CETESB.

Assim, analisando os dados apresentados na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5, em conjunto com os dados apresentados na Figura 7, Figura 8 e Figura 9, observa-se que a operação conjunta entre a PCH e o GFV contribuiu para a manutenção do nível de água no reservatório. Observa-se o aumento da permanência do nível de água no reservatório em cotas mais elevadas e o aumento dos dias de operação da PCH.

## 5. CONCLUSÕES

Apesar do estudo ter utilizado dados de municípios localizados em regiões geográficas do estado de São Paulo, as análises podem ser generalizadas e aplicadas para avaliação de casos em outras regiões brasileiras que apresentam diferentes condições ambientais e climáticas.

Para o caso apresentado, as simulações indicam que pode existir complementariedade no tempo entre as gerações fotovoltaica e hidráulica. Mas, para que a complementariedade seja positiva e, dessa forma, contribua para o desempenho do sistema híbrido, evidencia-se que a potência do GFV deve corresponder a um percentual da potência do gerador hidrelétrico. Neste caso, a complementariedade positiva

só ocorre quando a potência do GFV é igual ou maior do que 30% da potência das turbinas da PCH (potência das turbinas: 15.000 kW).

A complementariedade pode ser positiva ou negativa. A complementariedade positiva ocorre quando a quantidade de energia gerada pela operação conjunta entre os geradores é maior do que a quantidade de energia gerada pelos geradores de forma independente. Já, a complementariedade negativa ocorre quando a quantidade de energia gerada pela operação conjunta dos geradores é menor do que a quantidade de energia gerada pelos geradores de forma independente.

Além disso, o estudo indica que a operação conjunta entre as gerações hidrelétrica e fotovoltaica pode ser utilizada para regulação do nível de água nos reservatórios de usinas hidrelétricas. No caso apresentado, a elevação do limite inferior do volume útil implica perda na quantidade de energia entregue ao sistema pelo gerador hidrelétrico. Isso é reflexo do menor volume útil de água disponível para turbinamento. Mas, parte dessa perda é compensada nos momentos em que a geração fotovoltaica está disponível.

Portanto, as pequenas, médias e grandes usinas hidrelétricas devem considerar as contribuições e efeitos da introdução de geradores fotovoltaicos sobre a forma de operação e despacho dos geradores hidrelétricos. A partir disso, tais entidades devem buscar o desenvolvimento de estratégias, na fase de projeto ou de operação, para aproveitar e otimizar os benefícios da operação conjunta com compensação mútua de geração.

Como desdobramento do estudo apresentado, indica-se a possibilidade de desenvolvimento das análises considerando a integração da pequena central hidrelétrica Rio do Peixe com geradores fotovoltaicos instalados em outras regiões. Assim, pode-se avaliar a influência da disponibilidade de insolação diária de diferentes regiões sobre a determinação da potência do GFV que proporcionará a complementariedade positiva durante a operação conjunta com compensação mútua de geração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Departamento Nacional de Aquecimento Solar. Manual de Capacitação em Projetos de Sistemas de Aquecimento Solar. Abril de 2008, 138 p.

ALENCAR, C. A.; STEDILE, R.; URBANETZ JR., J. Estudo da complementariedade da geração de energia entre as fontes solar e hidráulica. Revista Brasileira de Energia Solar, ano 9, vol. IX, nº 1, julho de 2018, pp. 58-67.

AN, Y.; FANG, W.; MING, B.; HUANG, Q. Theories and methodology of complementary hydro/photovoltaic operation: Applications to short-term scheduling, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 7, 2015, pp. 1-13.

BELUCO, A. Bases para uma metodologia de dimensionamento de aproveitamentos híbridos baseados em energias hidrelétrica e fotovoltaica. Tese (doutorado em engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 234. 2001.

BENNETT, I. Monthly Maps of Mean Daily Insolation for United States. *Solar Energy*, v. 9, p. 145-158, 1965.

CRESESB – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB. 1999.

\_\_\_\_\_. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CRESESB. 2014.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. *Solar engineering of thermal processes*. 4ª ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.

FANG, W.; HUANG, Q.; HUANG, S.; YANG, J.; MENG, E.; LI, Y. Optimal sizing of utility-scale photovoltaic power generation complementarily operating with hydropower: A case study of the world's largest hydro-photovoltaic plant, *Energy Conversion and Management*, vol. 136, 2017, pp. 161-172.

GLASNOVIC, Z.; MARGETA, J. The features of sustainable Solar Hydroelectric Power Plant, *Renewable Energy*, vol. 34, 2009, pp. 1742-1751.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE coordenada atividades do projeto SWERA no Brasil. Disponível em <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=324](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=324)>. Acesso em 11 set. 2019.

KOUGIAS, I... et al. A methodology for optimization of the complementarity between small-hydropower plants and solar PV systems. *Renewable Energy*, N° 87, 2° sem. 2015 (2016), pp. 1.023-1.030.

MAUAD, Frederico Fábio. SHS-115: Aproveitamentos hidrelétricos. Apostila. 108p. Julho de 2009. Escola de Engenharia de São Carlos, departamento de hidráulica e saneamento da Universidade de São Paulo.

MARKVART, T.; CASTAÑER, L. *Practical handbook of photovoltaics fundamentals and applications*. Elsevier, 2003. 984 p.

OLIVEIRA, R. D.; VIEIRA JÚNIOR, J. C. M. Análise econômica da geração fotovoltaica de energia elétrica no município e São Carlos (SP). Revista Brasileira de Energia, vol. 17, Nº 2, 2º sem. 2011, pp. 157-174.

PEREIRA, J. C. Avaliação do potencial energético solar da região autônoma da Madeira. Agência Regional de Energia e Ambiente da Região Autônoma da Madeira (AREAM), relatório final, Agosto de 2005.

SILVÉRIO, N. M. Utilização de usinas solares flutuantes para operação coordenada com centrais hidrelétricas: estudo de caso das hidrelétricas da bacia do rio São Francisco. 131 p.: il. Itajubá, 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá. Instituto de Recursos Naturais. Programa de pós-graduação em Engenharia de Energia, 2018.

TIBA, C... et al. Atlas solarimétrico do Brasil – banco de dados terrestre. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111p.: il., tab., mapas.

TOLMASQUIN, M. T. Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. EPE: Rio de Janeiro, 2016.



## DECOMPOSIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NA INDÚSTRIA BRASILEIRA: EFEITOS DO AUMENTO DE ATIVIDADE ENTRE 1970 - 2019

Marlon Salazar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de São João del-Rei

DOI: 10.47168/rbe.v27i1.582

### RESUMO

A indústria é um dos setores da economia que mais consomem energia, sendo responsável por 32% do consumo final em 2019. Compreender como se comporta o consumo da indústria ao longo das décadas, decompondo a variação do consumo entre os efeitos atividade, estrutura e intensidade, através da decomposição de números índices, é de grande importância e é o objetivo principal deste trabalho. Este trabalho inova ao utilizar o método “*Index Decomposition Analysis (IDA)*” para os dados de consumo de energia industrial. Conclui-se que o efeito atividade é o principal responsável pelo aumento no consumo de energia, já que captura a participação do aumento da produção industrial sobre o consumo de energia. Por outro lado, o efeito intensidade cresce no período, o que indica que a indústria brasileira está se tornando menos eficiente no consumo de energia. Já o efeito estrutura contribui reduzindo o consumo no período estudado, o que indica que os setores energia intensivos perderam participação na produção industrial. Além disso, a partir da estimação da equação de demanda de energia utilizando como *proxy* do consumo o efeito atividade, constata-se que a elasticidade renda da demanda de energia foi de 1,57% no período, já que a elasticidade preço da demanda não é significativa.

Palavras-chave: Consumo de Energia, Decomposição de índice, Função de demanda.

### ABSTRACT

The industry is one of the most energy-demanding sectors of the economy, accounting for 32% of final consumption by 2019. Understanding how industry consumption evolved over the decades, decomposing its variation into the effects activity, structure, and intensity

is of great importance, and is the main objective of this paper. This paper innovates when using the “Index Decomposition Analysis (IDA)” method for data of industrial energy consumption. It is concluded that the activity effect is the main responsible for the increase in energy consumption, since it captures the participation of the increase of the industrial production over the energy consumption. On the other hand, the intensity effect increases in the period, which indicates that the Brazilian industry is becoming less energy efficient. On the other hand, the structure effect contributes to reducing the consumption in the period studied, which indicates that the energy-intensive sectors lost participation in industrial production. Moreover, from the estimation of the energy demand equation using the activity effect as a proxy for consumption, it appears that the income elasticity of energy demand was 1.57% in the period, since the price elasticity of demand was not significant.

Keywords: Energy consumption, Index decomposition, Demand function.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e social de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade nos setores industrial, comercial e de serviços, quanto a capacidade da população em adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica) (ANEEL, 2017).

Entre os setores que mais consomem energia, destaca-se a indústria. No Brasil, o setor industrial aumentou sua participação no consumo final energético ao longo das últimas cinco décadas; de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2019, a participação era de 28,4% em 1970 e passou para 32,0% em 2019 (EPE, 2019). Por outro lado, a indústria vem perdendo participação no PIB brasileiro, como pode ser constatado por dados do IBGE (2019), passando de 29,2% do PIB em 1970 para 16% em 2019, aumentando assim a intensidade energética na indústria. A evolução da participação da indústria no consumo de energia e no PIB pode ser vistos na Figura 1.

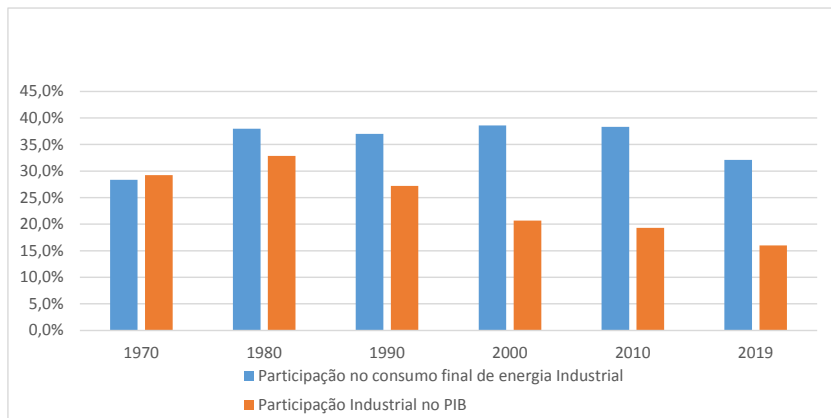


Figura 1 – Participação industrial no consumo final de energia e no PIB

Os dados da Figura 1 foram obtidos em EPE (2019). Com relação aos setores industriais, estes podem ser divididos em energia-intensivos e não energia-intensivos. A EPE (2007a) define a indústria energia-intensiva por três diferentes critérios: i) intensidade energética; ii) consumo específico de energia e; iii) participação do segmento no consumo total de energia.

Por intensidade energética pode-se entender como a razão entre o consumo agregado de energia e o Produto Interno Bruto. Pelo critério anteriormente citado, em geral, segmentos industriais energia-intensivos são aqueles que possuem alta intensidade energética. Já o consumo específico de energia entende-se como a razão entre o consumo agregado de energia e a produção física do segmento.

EPE (2007b) destaca que levando em consideração os três critérios, pode-se definir como seguimentos energia-intensivos em energia: alimentos e bebidas, papel e celulose, ferro-gusa e aço, ferro-ligas, mineração e pelotização, metais não-ferrosos e outros da metalurgia e química. Cimento, cerâmica, têxtil e outras indústrias foram classificados no grupo demais indústrias.

Como destaca EPE (2007b), a dinâmica dos subsetores que compõem o segmento industrial contribuiu para as modificações na estrutura de consumo de energia no período. Setores mais intensivos em energia apresentaram forte expansão no período. São exemplos dessa expansão os segmentos de ferro-gusa e aço, papel e celulose, não ferrosos e outros da metalurgia, e ferro-ligas.

Analisando o consumo de energia nos últimos 49 anos, observa-se que houve uma redução da participação dos setores de alimentos e bebidas, cimento e cerâmica e têxtil no consumo energético do setor

industrial. Em contrapartida, os setores de ferro-gusa e aço, ferro-ligas e não ferrosos, mineração e pelletização e papel e celulose e outros metais ganharam participação, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Participação por segmento industrial no consumo final de energia (BEN 2019)

| Ano  | Mineração e Pelotização | Cimento e Cerâmica | Ferro-gusa e aço, Ferro-ligas e não-ferrosos | Química | Alimentos e Bebidas | Têxtil | Papel e Celulose | Outras Indústrias |
|------|-------------------------|--------------------|--|---------|---------------------|--------|------------------|-------------------|
| 1970 | 1,5%                    | 16,5%              | 22,3%  | 6,8%    | 33,2%               | 4,6%   | 5,4%             | 9,7%              |
| 2019 | 3,1%                    | 10,3%              | 27,8%  | 8,5%    | 24,4%               | 1,1%   | 16,2%            | 8,7%              |

Como observa Alves (2007), o conceito de eficiência energética pode ser tratado como o uso da menor quantidade de energia possível para o fornecimento de um determinado produto ou serviço, ou ainda, produzir mais resultados (produtos e/ou serviços) para uma mesma quantidade de energia esperada. A eficiência energética pode ser medida a partir de diferentes indicadores, em função do equipamento, processo, tecnologia ou serviço estudado, mas a sua unidade pode ser expressa basicamente como a relação entre uma unidade de produto e serviço por unidade de entrada energia.

O inverso da eficiência energética é a intensidade energética, que pode ser expressa como a quantidade de energia por unidade de produto ou serviço. No Brasil, utilizam-se principalmente os indicadores de intensidade energética para medir a eficiência.

$$\text{Intensidade Energética} = \frac{\text{QUANTIDADE ENERGIA}}{\text{PRODUTO/SERVIÇO}} = \frac{\text{Tep}}{\text{US\$}} \quad (1)$$

$$\text{Eficiência Energética} = \frac{\text{PRODUTO/SERVIÇO}}{\text{QUANTIDADE ENERGIA}} = \frac{\text{US\$}}{\text{Tep}} \quad (2)$$

Contudo, a construção de uma série histórica com os índices obtidos nas equações (1) e (2) podem incorporar diversas informações relevantes que devem ser decompostas nos chamados Efeito Estrutura,

Efeito Intensidade e Efeito Atividade, através de uma metodologia específica.

O Efeito Estrutura refere-se ao tamanho total do setor/segmento na demanda total de energia, o que se relaciona ao nível de atividade de cada setor/segmento de acordo com o crescimento do PIB, bem como da estrutura setorial, ou seja, o Efeito Estrutura está associado com a relação entre setores energo-intensivos e suas respectivas participações no produto industrial.

O Efeito Intensidade é definido como o percentual de ganho relativo de eficiência ao se adotar uma dada fonte energética mais eficiente (por exemplo, gás natural para geração de vapor em substituição ao óleo combustível), ou por substituição tecnológica, ou ainda, através de mudanças de procedimento (hábitos de uso, especificação correta de equipamentos ou de equipamentos mais eficientes, dimensionamento de sistemas, manutenção adequada, gestão energética etc.).

Por outro lado, o Efeito Atividade refere-se à variação do consumo de energia decorrente da alteração na atividade econômica, ou seja, o Efeito Atividade indica o quanto variou o consumo de energia na indústria decorrente das variações da produção.

É justamente o aumento do consumo de energia decorrente do aumento de atividade que deve ser levado em consideração para estimar as elasticidades preço e renda da demanda, ao invés da quantidade de energia consumida sem retirar os demais efeitos, pois o consumo de energia na indústria pode aumentar de um ano para o outro não em decorrência da atividade econômica, mas sim por ineficiência (aumento da intensidade) ou mesmo pelo aumento de participação de setores energo-intensivos (efeito estrutura).

Como destacado acima, a eficiência energética cujo cálculo é feito a partir da Equação (2) pode distorcer a verdadeira eficiência, pois esta deve ser calculada retirando os efeitos da variação de atividade e mudança de estrutura no setor industrial; logo, o correto cálculo da eficiência energética dará muito mais respaldo para as pesquisas sobre consumo de energia e eficiência energética na indústria brasileira.

Além disso, o consumo de energia pode estar ligado à mudança de estrutura produtiva da indústria, logo, a variação do consumo de energia pode não ter relação com o aumento de produção. Dessa forma, decompor o consumo excluindo a mudança de estrutura visa calcular de forma correta as elasticidades preço e renda da demanda de energia, uma vez que estas podem estar sendo superestimadas devido ao aumento da participação dos setores energo-intensivos. Se o consumo aumenta mais que a produção, maior seria a elasticidade renda da demanda. O mesmo pode ser dito da elasticidade preço da demanda.

Portanto, este artigo tem por objetivo geral decompor o consumo de energia industrial em efeito intensidade, efeito estrutura e efeito atividade. Além disso, este trabalho tem por objeto estimar as elasticidades preço e renda da demanda de energia na indústria brasileira entre os anos de 1975 e 2019. Dessa forma, este trabalho propõe estimar a elasticidade preço e renda da demanda incorporando cálculos mais precisos de consumo de energia decorrente da atividade econômica e, também a eficiência energética, adicionando assim inovação na estimação econométrica.

Por fim, este artigo busca aprimorar e atualizar o trabalho de Salazar (2012). Aprimorar, uma vez que o método de decomposição utilizado naquela oportunidade foi uma decomposição conhecida com Laspeyres Refinado, proposto por Sun (1998), e no presente artigo se utiliza o método *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI), desenvolvido em Ang e Liu (2001). E atualizar, já que o trabalho de Salazar (2012) compreende o período de 1970 até 2008.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Diversos trabalhos nacionais e internacionais utilizaram a metodologia de decomposição de números índices para analisar o consumo de energia do setor industrial. Howarth et al. (1993) decompueram o consumo de energia industrial para cinco países da OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) entre os anos de 1973 a 1988, utilizando como método a decomposição convencional de índice de Laspeyres<sup>1</sup>. Encontraram que mudanças na estrutura dos países analisados tiveram importantes impactos na relação consumo de energia/PIB. Essas mudanças ocorreram independentes de alterações na utilização de técnicas mais eficientes de produção e utilização de energia.

Greening et al. (1997) utilizaram seis métodos diferentes de decomposição de intensidade agregada de energia para o setor industrial de 10 países da OECD, entre os anos de 1970 e 1992. Os autores chegaram à conclusão que a maior parte da mudança na intensidade energética pode ser explicada pelo Efeito Intensidade. Entretanto, mudanças de produção setoriais, isto é, Efeito Estrutura, também se mostraram importantes na determinação da Intensidade Energética.

Ang e Zhang (2000) fizeram um resumo dos últimos artigos que utilizaram a metodologia de decomposição de índices aplicada ao consumo de energia. Estes mesmos autores desenvolveram técnicas atualizadas para aplicação do método de decomposição de números

---

<sup>1</sup> Para mais detalhes relativos à evolução do método de decomposição do consumo de energia, indica-se Salazar (2012).

índices, inclusive o método *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI), apresentado em Ang e Liu (2001).

No Brasil, a metodologia de decomposição de índice é pouco utilizada. Motta e Araújo (1989) decompueram as variações do consumo industrial brasileiro de energia separadamente para energia elétrica, óleo combustível e outros combustíveis. O intuito era relacionar os principais aspectos do crescimento econômico e as políticas energéticas; os autores concluíram que no período analisado, 1973 a 1984, o efeito estrutura não teve participação relevante para explicar o consumo de energia no setor industrial.

Salazar (2012) decompôs o consumo de energia para indústria brasileira no período de 1970 e 2008. O autor concluiu que o efeito atividade foi o principal responsável pelo aumento de consumo de energia na indústria. Somente no período da década de 1990 o efeito atividade não foi o mais importante, perdendo espaço para o efeito intensidade, que cresceu bastante no período.

Resumindo, a análise de decomposição pode ser feita a partir de dados de consumo de energia ou intensidade energética. Por outro lado, a metodologia de decomposição foi sendo aprimorada a partir da utilização moderna da teoria de Números Índices, de modo que a metodologia utilizada neste trabalho, demonstrada no próximo tópico, é denotada como a mais atual.

Além disso, a decomposição do consumo de energia no setor industrial brasileiro se mostrou bastante restrita. Contudo, os trabalhos mostram que o efeito estrutura apresenta baixa influência na variação do consumo de energia, ficando o efeito atividade responsável pela maior parte da variação do consumo de energia na indústria brasileira.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Método de decomposição**

Os métodos de decomposição populares entre os analistas de consumo de energia e intensidade energética podem ser divididos em dois grupos: os métodos relacionados com o índice de Laspeyres, e métodos relacionados com o Índice de Divisia. Bem conhecido em estudos econômicos, o índice de Laspeyres mede a variação percentual em algum aspecto de um grupo de itens ao longo do tempo, usando pesos baseados nos valores de alguns anos base. O índice Divisia, por sua vez, é uma soma ponderada das taxas de crescimento logarítmico, em que os pesos são partes dos componentes do valor total, dado na forma de uma linha integral (Ang, 2004).

Em termos simples, a construção de métodos ligados ao índice

de Laspeyres é baseada no conceito familiar de variação percentual, enquanto que a construção de métodos relacionados com o índice de Divisia é baseado no conceito de mudança logarítmica (Ang, 2004).

Ang e Zhang (2000) propuseram a aplicação do índice de Divisia na metodologia de *Index Decomposition Analysis* (IDA), de modo que a decomposição do consumo de energia pode ser denotada como:

$$\text{Efeito Atividade} \quad \Delta E_{act} = \sum_i w_i \ln \left( \frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad (3)$$

$$\text{Efeito Estrutura} \quad \Delta E_{str} = \sum_i w_i \ln \left( \frac{S^T}{S^0} \right) \quad (4)$$

$$\text{Efeito Intensidade} \quad \Delta E_{int} = \sum_i w_i \ln \left( \frac{I^T}{I^0} \right) \quad (5)$$

$$\text{Peso média Logarítmica} \quad w_i = \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln E_i^T - \ln E_i^0} \quad (6)$$

em que  $E_{act}$  é o efeito atividade,  $Q^T$  e  $Q^0$  são, respectivamente, o produto por setor nos períodos T e 0;  $E_{str}$  é o efeito estrutura, sendo medido a partir da variação de  $S^T$  e  $S^0$ , razão entre o produto de cada setor industrial sobre o total do produto industrial;  $E_{int}$  é o efeito intensidade medido a partir da razão entre a intensidade no período T e 0,  $I^T$  e  $I^0$ ;  $w_i$  é o peso de cada setor industrial sobre o total da indústria, que é medido a partir do consumo de energia por setor entre dois períodos, T e 0.

O método de decomposição por média logarítmica aditiva satisfaz as principais propriedades desejáveis de índices de preços, reversão no tempo, circularidade e reversão de fatores<sup>1</sup>.

Os métodos adequados, que são aprovados no teste de reversão de fatores, não deixam resíduo, o que tenderia a complicar a interpretação dos resultados. Em alguns casos a decomposição aditiva pode ser preferível à decomposição multiplicativa, ou vice-versa, pois os resultados podem ser mais facilmente compreendidos e comunicados. Os métodos que dão uma associação direta entre a decomposição aditiva e multiplicativa também pode levar à facilidade de interpretação dos resultados. Para mais detalhes a respeito da associação entre de-

<sup>1</sup> São propriedades desejáveis de um número índice; para mais detalhes, consultar Ang(2004).



composição aditiva e multiplicativa pode ser consultado Choi e Ang (2003).

### 3.2 Método de estimação

A partir das séries históricas de números índices calculados através do método de decomposição explicitado no tópico anterior, o passo seguinte é aplicar econometria de séries temporais para calcular as elasticidades de preço e renda da demanda de energia da indústria brasileira. Econometria de séries temporais, em especial os modelos VAR (Vetores Auto Regressivos), permite utilizar dados temporais (passados) para estimar parâmetros, e também realizar previsões, em geral, incondicionais e de curto prazo sobre certas variáveis (Rossi e Das Neves, 2014).

Segundo Enders (1995), uma série é estacionária fracamente quando sua média é constante ao longo do tempo. Sua variância também deve ser constante ao longo do tempo, e sua covariância indica que a autocorrelação entre dois valores de  $y_t$ , tomados a partir de dois períodos de tempo distintos, depende somente do intervalo de tempo entre esses dois valores e não de sua data, ou seja,  $Cov(y_t, y_{t+s})$  é constante para todo  $t$  que não seja igual a  $s$ .

Caso um dos pressupostos mencionados não seja atendido, a série temporal analisada não é estacionária. A utilização de séries temporais não-estacionárias na análise clássica de regressão pode levar a um problema conhecido na literatura como “regressão espúria”, cuja principal característica é um elevado valor de  $R^2$ ,  $t$  – estatístico e uma estatística DW (Durbin-Watson) baixos, que podem parecer significativos, porém não têm qualquer significado econômico.

As séries temporais econômicas são, na sua maioria, não-estacionárias em nível. Contudo, séries não-estacionárias podem se tornar estacionárias depois de uma ou mais diferenciações. Uma série temporal que precisa ser diferenciada “ $d$ ” vezes para se tornar estacionária é chamada integrada de ordem “ $d$ ” ou  $I(d)$ . Desse modo, uma série estacionária em nível é dita ser  $I(0)$ .

Após constatação pelo teste de raiz unitária de que as séries não são estacionárias em nível, quer dizer, apresentam raiz unitária, a etapa seguinte é identificar as relações de cointegração. Engle e Granger (1987) chegaram à conclusão de que uma combinação linear de duas ou mais séries não-estacionárias pode ser estacionária. Caso essa combinação exista, ela pode ser interpretada como relação de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis.

Para que duas ou mais séries sejam co-integradas, elas devem ter a mesma ordem de integração, ou seja, se uma série for  $I(1)$ ,

todas as demais também devem ser  $I(1)$ . O teste de cointegração de Johansen (1988) baseia-se em um modelo VAR (*Vector Autoregressive Model*).

Assumindo que  $x_t$  seja o vetor das variáveis, pode ser representado em notação matricial da seguinte forma:

$$x_t = \Theta_1 x_{t-1} + \Theta_2 x_{t-2} + \dots + \Theta_p x_{t-p} + \varepsilon_t = \sum_{s=1}^p \Theta_s x_{t-s} + \varepsilon_t \quad (7)$$

em que  $x_t$  é o vetor ( $k \times 1$ ) das variáveis do modelo;  $\theta_s$  são matrizes ( $n \times n$ ), que relacionam os termos defasados das variáveis com os valores correntes destas;  $n$  é o número de variáveis; e  $\varepsilon_t$  é o vetor ( $k \times 1$ ) dos erros.

A Equação (7) pode ser representada com uso do operador de defasagem  $B$ :

$$(I - \Theta_1 B - \Theta_2 B^2 - \dots - \Theta_p B^p) x_t = \varepsilon_t \quad (8)$$

em que  $B^m x_t = x_{t-m}$ , para qualquer  $1 < m < p$ .

Após definição das defasagens incluídas no modelo, as Equações (7) e (8) representam a forma definitiva do modelo.

Segundo Johansen (1988), pode-se adotar a seguinte forma para estimar as relações de co-integração:

$$\Delta x_t = \prod x_{t-1} + \sum_{s=1}^{p-1} \Gamma_s \Delta x_{t-s} + \varepsilon_t \quad (9)$$

em que  $\prod = \sum_{s=2}^p (\Theta_s - 1)$  e  $\Gamma_i = - \sum_{j=i+1}^p \Theta_j$

O posto da matriz  $\Pi$  é  $r$ , tal que  $0 < r < k$ ; então haverá matrizes  $\alpha$  e  $\beta$ , de dimensão ( $r \times k$ ), tal que  $\Pi = \alpha\beta^T$  e que  $\beta^T x_t$  seja estacionária. O posto  $r$  é o número de relações de co-integração, e cada coluna de  $\beta$  é um vetor de co-integração.

O método de Johansen consiste em estimar a matriz  $\Pi$  por máxima verossimilhança, na forma irrestrita. Em seguida, testam-se se as

restrições decorrentes do posto de  $\Pi$  podem ser rejeitadas. A hipótese nula de que há  $r$  vetores de co-integração é testada por dois testes de razão de verossimilhança: teste do traço e teste do máximo autovalor.

Johansen e Juselius (1990) indicaram o teste do traço e o teste do autovalor máximo. Os valores críticos dos testes são utilizados para verificar a existência do número máximo de vetores de cointegração.

Segundo Enders (1995), o teste estatístico de traço é dado pela seguinte expressão algébrica:

$$P(r_0) = T \sum_{r_0+1}^n \ln(1 - \lambda_i) \quad (10)$$

em que  $r_0 = 0, 1, \dots, k-1$ , quando  $\lambda_i$  é o  $i$ -ésimo autovalor;  $P$  é a estatística de traço; e  $T$  é o número de observações. O teste do traço testa a seguinte hipótese:

$$H_0: r < r_0$$

$$H_A: r > r_0$$

Conforme Enders (1995), o teste do autovalor máximo é dado pela seguinte expressão algébrica:

$$P(r_0, r_0 + 1) = T \ln(1 - \lambda_{r_0+1}) \quad (11)$$

em que se testam as seguintes hipóteses:

$$H_0: r = r_0$$

$$H_A: r = r_0 + 1$$

### 3.3 Dados

Os dados referentes ao consumo de energia e produção por segmento industrial são obtidos junto ao Balanço Energético Nacional (BEN), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), ligada ao Ministério de Minas e Energia. O BEN é publicado anualmente, com dados iniciando em 1970. Logo, este trabalho utilizará dados referentes ao período 1970 a 2019, sendo 2019 o último ano com informações disponíveis quando este artigo foi preparado.

Os dados do PIB da indústria de transformação e do preço do petróleo importado também são obtidos no BEN. Por outro lado, os dados relativos ao Nível de Pessoal Ocupado são obtidos no IPEADATA, dados estes calculados pela FIESP.

Para decompor as séries de consumo de energia industrial foram utilizados dados de 1970 até 2019, porém para estimar as equações de demanda de energia foram utilizados dados de 1975 até 2019, principalmente porque os dados relativos ao Nível de Pessoal Ocupado estão disponíveis a partir de 1975.

### 3.4 Modelo empírico

Este trabalho propõe estimar uma equação de demanda de energia para a indústria brasileira utilizando como *proxy* do consumo de energia o “Efeito Atividade” obtido a partir da decomposição do consumo de energia. A utilização do “Efeito Atividade” como *proxy* do consumo de energia decorre do aumento de atividade que deve ser levado em consideração para estimar as elasticidades preço e renda da demanda em vez da quantidade consumida de energia sem retirar os demais efeitos, pois o consumo de energia na indústria pode aumentar de um ano para o outro não em decorrência da atividade econômica, mas sim por ineficiência (efeito intensidade) ou mesmo pelo aumento de participação de setores energia-intensivos (efeito estrutura).

A equação a ser estimada é:

$$EA_t = f(Y_t, P_t, P_t^S) \quad (12)$$

A equação (12) denota a demanda por energia em que  $EA_t$  é o Efeito Atividade usado como *proxy* da demanda agregada de energia pela indústria”,  $Y_t$  é o PIB da indústria de transformação,  $P_t$  é um índice de preço do petróleo e  $P_t^S$  é o nível de pessoal ocupado na indústria paulista (*proxy* do nível de pessoal ocupado para indústria total brasileira).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Decomposição do consumo de energia

O principal objetivo deste trabalho é decompor o consumo de energia da indústria de acordo com o método indicado na metodologia, item 3.1. Como denotado na referida seção, a decomposição do consumo de energia pode ser dividida em três efeitos distintos: Efeito Atividade, Efeito Estrutura e Efeito Intensidade.

A Figura 2 mostra os resultados da decomposição do consumo de energia pela indústria entre os anos de 1970 e 2019, dividido em grupos de cinco anos. Como pode ser visto, nos dois primeiros períodos (anos de 1970 – 1975 e 1976 – 1980) o Efeito Atividade representa a maior parte do acréscimo de energia consumida pela indústria nos períodos. O Efeito Estrutura teve uma pequena contribuição, reduzindo o consumo de energia no primeiro grupo, porém os Efeitos Estrutura e Intensidade não tiveram contribuição significativa no segundo período.

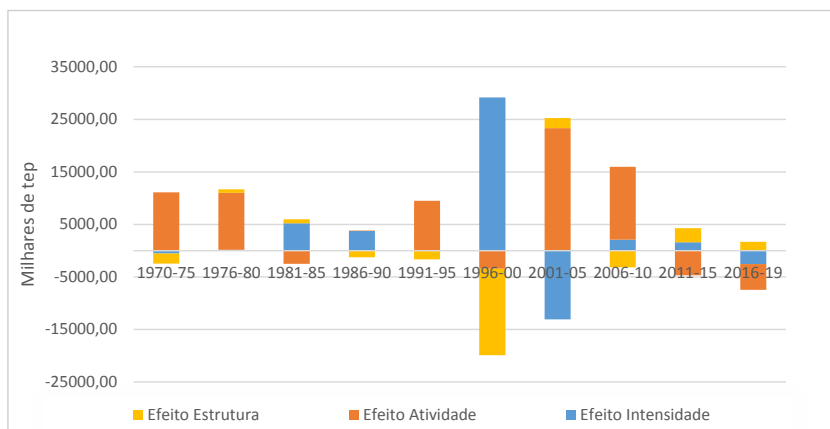


Figura 2 – Decomposição do Consumo de Energia na Indústria, em tep, entre 1970 – 2019

Os dois primeiros períodos se caracterizam pelo forte crescimento da indústria, uma vez que partir de 1970 a taxa de crescimento do PIB brasileiro ultrapassou os dois dígitos, como observa Gremaud et al. (2009): mais especificamente, no primeiro período a taxa média de crescimento do PIB industrial foi de 11,48% a.a. O forte crescimento se deve basicamente aos investimentos públicos em infraestrutura e fortalecimento das empresas estatais, particularmente Petrobras e Vale; já os setores de construção civil e bens de capital cresceram 15% a.a. e 18,1% a.a., respectivamente, entre os anos de 1968 e 1973.

Machado e Schaeffer (1995) decompueram o consumo de energia da indústria de transformação brasileira e chegaram a resultados parecidos aos encontrados neste presente trabalho, ou seja, o Efeito Atividade é o maior responsável pelo aumento do consumo de energia no período de 1971 a 1975.

Motta e Araújo (1989) decompueram o consumo de energia do setor industrial para diferentes fontes de energia, concluindo que para o período 1971-1974 o efeito Atividade contribuiu com a maior parte do acréscimo no consumo de energia, explicado pela rápida aceleração do produto industrial, chamando a atenção que no período o preço relativo da energia estava em um patamar baixo.

No final de 1974 lançou-se o II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), cujo objetivo principal era manter o crescimento do PIB e o crescimento industrial, completando a transição do modelo de crescimento do período passado, baseado no crescimento do setor de bens de consumo duráveis, para o crescimento do setor produtor de meios de produção, ou seja, bens de capital e insumos básicos, como aço, alumínio, zinco, minério de ferro, entre outros (Gremaud, Vasconcellos e Toledo Jr., 2009).

Ainda de acordo com Gremaud et al. (2009), as taxas de crescimento do período 1974 a 1979 foram menores que no Milagre Econômico<sup>1</sup>. Por outro lado, entre os anos de 1974 e 1979 a indústria cresceu 35%, com destaque para o setor metalúrgico, que cresceu 45%, material elétrico, 49%, papel e papelão, 50%, químico, 48%, têxtil, 26% e, por fim, o setor de alimentos, 18%.

Diferentemente dos resultados encontrados neste presente trabalho, Machado e Schaeffer (1995) concluíram que o Efeito Intensidade contribuiu reduzindo o consumo de energia. De acordo com a Figura 2, Efeito Intensidade foi nulo, ou seja, não contribuiu para reduzir ou aumentar o consumo de energia. Tal diferença pode ser explicada pelo método empregado entre os dois trabalhos: enquanto Machado e Schaeffer (1995) utilizaram o método de decomposição de Divisia, o presente trabalho utiliza um método parecido, porém com pesos dados por variação logarítmica, que não deixa resíduo na decomposição, como citado no item 3.1.

Motta e Araújo (1989) concluem que para o período 1974-1979 o Efeito Intensidade contribuiu com um aumento de 19% no consumo de energia. A principal justificativa é que no período a política de preços de derivados de petróleo pouco se ajustou à nova realidade de aumento de preços no mercado internacional, na medida em que não se internalizou toda elevação no preço do petróleo. Dessa forma, segundo os autores, o Efeito Atividade, com acréscimo de 75% no consumo de energia, explica parte do crescimento industrial.

Park et al. (1993) fizeram uma análise de decomposição *cross-country* para 26 países entre os anos de 1973 a 1988, e chegaram à conclusão que entre os anos de 1973 e 1980 o Efeito Atividade foi responsável por 78,6% do acréscimo de consumo de energia, e que o

<sup>1</sup> Alusão ao forte crescimento econômico do Brasil no período de 1968 a 1973, cujas taxas de crescimento real foram 9,8%; 9,5%; 10,4%; 11,34%; 11,94% e 13,97%, respectivamente (IBGE, 2017).

Efeito Intensidade contribuiu com 12,6% do acréscimo. Por outro lado, neste trabalho o Efeito Atividade não teve influência no período analisado, como pode ser visto na Figura 2.

Observando a Figura 2, pode-se notar que o período entre os anos de 1981 e 1985 apresenta consumo de energia relacionado ao aumento do Efeito Intensidade e, ao mesmo tempo, uma pequena redução relativa ao Efeito Atividade. A situação da economia brasileira se encontrava em situação adversa naquele período, e foi necessário um profundo ajuste para corrigir o desequilíbrio externo. Tal desequilíbrio foi criado pela opção de continuar crescendo mesmo após sucessivos choques do petróleo e adversidade externa. Entre os anos de 1980 e 1983 a produção industrial chegou a cair 14,1%, só retornando ao patamar de 1980 no ano de 1986 (Gremaud, Vasconcellos e Toledo Jr., 2009).

Machado e Schaeffer (1995) concluíram que, diferentemente do que ocorreu no período 1975 a 1980, todos os Efeitos foram positivos, principalmente o Efeito Estrutura e Atividade. Isso mostra que a eficiência energética passou a decrescer, indicando que as tecnologias utilizadas nos processos produtivos passaram a ser obsoletas, ou mais provavelmente, o valor médio de troca da indústria de transformação decresceu no período.

Motta e Araújo (1989) argumentam que o período de 1979 a 1985 caracteriza-se por uma política energética mais ativa, propondo preços mais realistas para os derivados de petróleo e incentivando substituições de fontes energéticas. O resultado destas políticas é que o Efeito Intensidade contribuiu para a redução do consumo de energia no período, segundo os autores. Os resultados mencionados não corroboram os encontrados neste trabalho.

O período seguinte, 1986 a 1990, caracterizou-se por uma pequena elevação do Efeito Atividade, explicada pelo crescimento industrial de 1986, mantido o patamar até meados de 1989. Tal crescimento deveu-se aos sucessivos planos econômicos cujos objetivos eram controlar a inflação, mas que geravam expansão da demanda e antecipação de compras.

Park et al. (1993) sugeriram que o Efeito Intensidade, no trabalho feito para 26 países, respondeu por 95,3% do acréscimo no consumo de energia no período 1980 a 1988. Esse resultado vai ao encontro com os resultados encontrados neste trabalho: o Efeito Atividade respondeu negativamente com -4,7%, e o Efeito Estrutura por acréscimo de 10%. Machado e Schaeffer (1995) argumentam que as mesmas tendências verificadas no período anterior se repetiram, porém em intensidade menor.

Entre os anos de 1989 e 1992 as altas taxas de inflação e o confisco de liquidez fizeram o produto industrial cair 11,8%. Apesar disso,

a partir de 1993, quando o vice-presidente Itamar Franco assumiu a presidência, juntamente com o ministro da fazenda Fernando Henrique Cardoso, houve melhora das contas públicas e começou a implantação de um novo plano econômico – o Real –, com o PIB industrial voltando a crescer (Gremaud, Vasconcellos e Toledo Jr., 2009).

O período de 1991 a 1995 caracterizou-se por forte Efeito Atividade, ou seja, a indústria passou a utilizar mais energia para aumentar a produção. Enquanto que a taxa de investimento em relação ao PIB foi de 22,17% entre os anos 1985 a 1990, a mesma taxa caiu para uma média de 18,97% entre os anos de 1991 a 1995.

O Efeito Intensidade foi o maior responsável pelo acréscimo no consumo de energia entre os anos de 1996 a 2000. No período, a taxa de investimento na economia foi de apenas 16,73% a.a., em média, uma das mais baixas taxas de investimento na história recente do país. Como pode ser visto na Figura 3, entre os anos de 1987 a 2003 o nível de consumo de energia relativo ao Efeito Atividade praticamente ficou inalterado, o que pode ser entendido como estagnação na produção industrial no período.

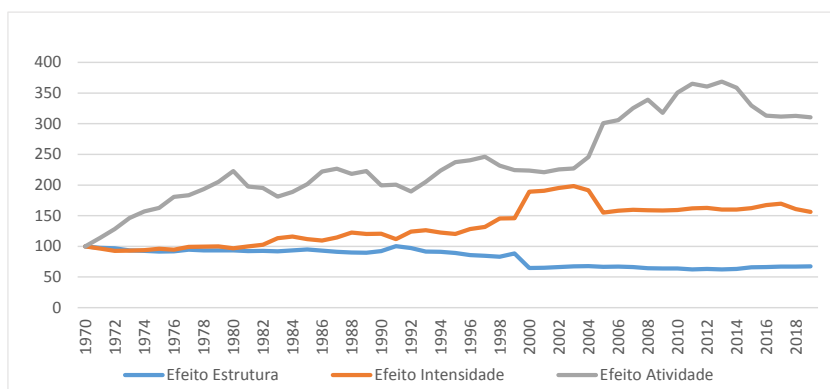


Figura 3 – Decomposição do Consumo de Energia na Indústria em índices, entre 1970 – 2019

Nesse mesmo período (1996 a 2000), o Efeito Estrutura atuou reduzindo o consumo de energia, ou seja, os setores energo-intensivos perderam participação na produção da indústria em relação aos setores não energo-intensivos. É justamente entre os anos de 1996 e 2000 que os setores industriais classificados como não energo-intensivos obtiveram maior participação no produto industrial, variando entre 62% e 65% da produção industrial.



Como pode ser constatado nas Figuras 2 e 3, a partir de 2005 o Efeito Intensidade voltou a contribuir para a redução no consumo de energia na indústria. Ao mesmo tempo, o Efeito Atividade contribuiu para o acréscimo no consumo, em especial a partir de 2004. Este resultado sugere que, com o crescimento industrial visualizado a partir do Efeito Atividade, os setores energo-intensivos cresceram à mesma taxa dos setores não energo-intensivos, evidência sugerida pela estabilidade do consumo de energia, de acordo com o Efeito Estrutura.

De um modo geral, entre os anos de 2001 a 2013 a indústria aumentou bastante o consumo de energia relativo ao aumento da produção, conforme sugere o Efeito Atividade (vide Figura 3). Já o Efeito Estrutura teve participação importante, reduzindo o consumo de energia, porém de forma discreta. Em contrapartida, o Efeito Intensidade contribuiu para o aumento do consumo de energia.

Como destacam Pires et al. (2002), em maio de 2001 cálculos do Operador Nacional do Sistema (ONS) indicavam a necessidade de redução imediata de 20% do consumo de energia elétrica no país, decorrente do grave período de estiagem e da falta de investimento e planejamento no setor elétrico. Segundo os autores, as metas de redução de consumo foram de 20% para consumidores residenciais com consumo superior a 100 kWh/mês, 20% para os consumidores comerciais e de 20% a 25% para os consumidores industriais. Ou seja, a indústria precisou fazer um esforço maior para contribuir com o racionamento.

Como as indústrias foram obrigadas a aderir ao racionamento, ao mesmo tempo em que os preços da energia elétrica ficaram mais altos, era de se esperar que os investimentos em eficiência energética perdurassem por todo o período, principalmente nos setores onde a participação da energia elétrica como insumo energético era relativamente maior como, por exemplo: não-ferrosos (56,3%), têxtil (55,6%), outras indústrias (50%), ferro-ligas (40,1%), mineração e pelotização (28,9%) e química (26,4%)<sup>1</sup>.

A partir de 2004 a produção industrial cresceu, como pode ser visto pelo Efeito Atividade na Figura 3. Paralelamente, o Efeito Intensidade contribuiu para um aumento discreto do consumo de energia. Entre os anos de 2004 e 2013 o PIB industrial cresceu a uma taxa de 5,8% a.a. e a taxa média anual de investimento foi de 17%.

Os dois últimos períodos (2011-2015 e 2016-2019) foram caracterizados pelo impacto negativo no consumo de energia advindo do Efeito Atividade, dado que nesses períodos a atividade econômica sofreu retração, principalmente no biênio 2014 e 2015. O que diferencia o segundo período do primeiro é que, enquanto no primeiro o Efeito Intensidade impactou o aumento do consumo de energia, no segundo o mesmo efeito contribuiu para reduzir o consumo; porém em ambos a

---

<sup>1</sup> Dados obtidos para o ano de 2008, junto ao BEN (2008).

magnitude foi pequena.

#### 4.2 Estimação da demanda de energia

A estimação das elasticidades da demanda de energia na indústria de transformação será feita utilizando o Modelo de Co-integração, de acordo com o procedimento descrito em Johansen (1988).

Para tanto, inicialmente deve-se determinar se os processos geradores das séries são estacionários ou não. Para tal, utilizou-se o teste de raiz unitária de Dickey-Fuller Aumentado, ou ADF. O procedimento para detectar raiz unitária através do teste ADF foi baseado em Enders (1995).

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de Raiz Unitária ADF para as séries de Consumo de Energia Industrial, Valor Adicionado da Indústria de Transformação, Índice de Preços de Petróleo, Índice de Pessoal Ocupado e Índice de Utilização de Capacidade Instalada.

Tabela 2 – Teste de Raiz Unitária ADF para as séries Consumo de Energia Industrial, Valor Adicionado da Indústria de Transformação, Preços de Petróleo, Pessoal Ocupado e Utilização da Capacidade Instalada

|            | Constante e Tendência |         | Constante            |         | Sem Constante e Tendência |         | Primeira diferença   |         |
|------------|-----------------------|---------|----------------------|---------|---------------------------|---------|----------------------|---------|
|            | Estatística de Teste  | p-Valor | Estatística de Teste | p-Valor | Estatística de Teste      | p-Valor | Estatística de Teste | p-Valor |
| Atividades | -2,37                 | 0,39    | -1,48                | 0,54    | 1,47                      | 0,96    | -5,41                | 0,00    |
| PIBtrans   | -3,08                 | 0,12    | -2,47                | 0,13    | -2,47                     | 0,13    | -4,81                | 0,00    |
| Pessoal    | -2,34                 | 0,40    | -1,32                | 0,61    | -0,99                     | 0,29    | -3,93                | 0,00    |
| Petróleo   | -1,79                 | 0,69    | -1,68                | 0,43    | -0,05                     | 0,66    | -6,25                | 0,00    |

\*Valores críticos: MacKinnon (1996).

Utilizando o procedimento proposto por Enders (1995), partindo de uma especificação mais geral, constata-se que, ao nível de significância de 5%, todas as séries são não estacionárias. Os mesmos resultados podem ser obtidos a partir de especificações mais restritas como constante, e sem tendência e sem constante. Os resultados sugerem que todas as séries em questão são integradas de ordem 1, pois em suas primeiras diferenças todas são estacionárias.

Para estimar a equação de demanda de energia de longo prazo utilizando o procedimento descrito por Johansen (1988), é necessário determinar o número de defasagens constantes no modelo. Conclui-se que com uma defasagem o modelo não apresenta problemas de autocorrelação nos termos de erro, tanto pelos critérios de Akaike quanto Schwarz.

A partir da correta especificação do modelo, realizou-se o teste proposto por Johansen (1988) e Johansen e Juselius (1990), com o objetivo de encontrar, caso exista, relações de longo prazo entre as variáveis, ou seja, os vetores de co-integração. Para tanto, utilizou-se o teste do Traço. A Tabela 3 apresenta os resultados do teste do Traço.

Tabela 3 – Teste de Co-integração entre as séries: Consumo de Energia Industrial, Valor Adicionado da Indústria de Transformação, Índice de Preço Petróleo, Pessoal Ocupado, assumindo a ausência de intercepto e tendência no vetor de cointegração, com um *lag*

|           | <b>Autovalor</b> | <b>Traço</b> | <b>P-valor</b> |
|-----------|------------------|--------------|----------------|
| Nenhum    | 0,389            | 40,485       | 0,046*         |
| 1 Vetor*  | 0,237            | 18,784       | 0,214          |
| 2 Vetores | 0,143            | 6,868        | 0,340          |
| 3 Vetores | 0,002            | 0,081        | 0,839          |

De acordo com o teste do Traço, a hipótese nula de que o posto da matriz de cointegração é nulo é rejeitada a 5%, como mostrado na Tabela 2. Portanto, há no mínimo um vetor de cointegração que estabelece as relações de longo prazo entre as variáveis. Contudo, o teste não rejeita a hipótese nula de que há um ou menos vetores de cointegração. Portanto, o teste de Traço indica que, para o nível de significância estabelecido, há um vetor de cointegração entre as variáveis analisadas.

O passo seguinte é justamente determinar o vetor de cointegração que garante que as variáveis caminhem juntas a longo prazo. Essa relação está demonstrada na Tabela 4, que também apresenta o nível de significância dos parâmetros estimados.

Tabela 4 – Determinantes da Demanda de Energia pela Indústria

| Atividade | PIB-trans | Petróleo | Pessoal |
|-----------|-----------|----------|---------|
| 1         | -1,572    | 0,079    | 0,521   |
| Desvio    | -0,106    | 0,056    | 0,103   |
| t         | -14,765*  | -1,431   | -5,038* |

\* significativo a 1%, \*\* significativo a 5% e \*\*\* significativo a 10%.

Os resultados demonstrados na Tabela 4 podem ser melhor visualizados na equação abaixo.

$$ATIVIDADE_t = 1,57 \text{ PIBTRANS} - 0,079 \text{ PETROLEO}_t - 0,521 \text{ PESSOAL} \quad (13)$$

-14,76\*                      -1,431                      -5,038\*

De acordo com a equação (13), um aumento de 1% no Valor Adicionado da indústria de transformação implica um aumento de 1,57% no consumo de energia, ou seja, a elasticidade renda da demanda por energia na indústria é próxima à unidade. Com relação à significância do parâmetro, o mesmo se mostrou significativo a 1%.

Schmidt e Lima (2004) estimaram a demanda por energia elétrica para a indústria brasileira entre o período de 1969 e 1999, e chegaram à conclusão que a elasticidade renda da demanda por energia foi de 1,718. Contudo, a energia elétrica é apenas uma das fontes de energia consideradas neste trabalho; a energia elétrica contribui com aproximadamente 20% da demanda energética industrial.

Mattos (2005) estimou a demanda por energia elétrica industrial no Brasil entre os períodos de 1974 a 2002. O autor conclui que a elasticidade renda da demanda por energia elétrica é de 1,588. Esse resultado é próximo das estimativas realizadas por Schmidt e Lima (2004). Salazar (2012) estimou a demanda por energia na indústria entre os anos de 1970 e 2008, e encontrou que a elasticidade renda da demanda de energia é de 0,95.

Contudo, vale lembrar que todos os trabalhos citados apresentam diferenças significativas com relação ao trabalho reportado neste artigo. As estimativas de Mattos (2005) e Schmidt e Lima (2004) levam em consideração a demanda por energia elétrica, enquanto que a estimativa de Salazar (2012) leva em consideração a demanda por energia na indústria. Já o trabalho ora proposto assume como demanda de energia apenas aquela derivada do Efeito Atividade, ou seja, a parcela

do consumo de energia que exclui o Efeito Estrutura e o Efeito Intensidade. Logo, espera-se que as estimativas de elasticidade renda e preço estejam livres de ruídos dos efeitos estrutura e intensidade.

Esta é a principal contribuição deste trabalho, qual seja, a estimativa da demanda por energia desconsiderando efeitos que podem afetar a estimação dos parâmetros. O Efeito Atividade refere-se à variação do consumo de energia decorrente da alteração na atividade econômica, isto é, indica o quanto a indústria variou o consumo de energia decorrente das variações na produção. Então, espera-se que as estimativas estejam mais próximas do parâmetro da elasticidade renda, uma vez que desconsidera efeitos que afetem a demanda por energia.

Com relação à elasticidade preço da demanda de energia, um aumento no preço do petróleo em 1% implica uma redução de - 0,079% no consumo de energia pela indústria. Com relação à significância estatística do parâmetro, a variável não se mostrou significativa. Este resultado pode ser explicado pela composição das fontes de energia utilizadas pela indústria: dados do EPE (2019) mostram que aproximadamente 20% do consumo final de energia industrial é energia elétrica, 21% bagaço de cana, 24% carvão mineral e vegetal, e o restante de fontes derivadas de petróleo.

Comparando com outros trabalhos, porém tendo a energia elétrica como objeto de análise, Schmidt e Lima (2004) encontraram -0,128, enquanto Mattos (2005) encontrou -0,489 para a elasticidade preço da demanda.

A variável “pessoal ocupado” na indústria foi colocada na estimativa como *proxy* de um fator de produção substituto da energia. Um aumento de 1% no número de empregados na indústria implica uma redução de - 0,521% no consumo de energia, portanto, o consumo de energia é inelástico com relação a variável “pessoal ocupado”.

## 5. CONCLUSÕES

Ao decompor o consumo de energia na indústria brasileira entre os efeitos: Atividade, Estrutura e Intensidade, constata-se que o Efeito Atividade teve importante participação no aumento do consumo de energia, principalmente nas décadas de 1970, na primeira metade da década de 1990 e na década de 2000. Teve também importante participação na primeira metade da década de 2010, porém de forma negativa, ou seja, reduzindo o consumo de energia. Essa redução se deve principalmente à redução da produção industrial observada no período.

Já o Efeito Estrutura teve importante participação na segunda

metade da década de 1990 e pequenas variações nos períodos posteriores. O Efeito Intensidade contribuiu para aumentar o consumo na segunda metade da década de 1990 e para reduzir o consumo na primeira metade da década de 2000.

Como o Efeito Atividade refere-se à variação do consumo de energia decorrente da alteração da atividade econômica, ou seja, o Efeito Atividade indica o quanto a indústria variou o consumo de energia decorrente das variações na produção, buscou-se estimar a demanda de energia utilizando como *proxy* da demanda o Efeito Atividade, excluindo assim os demais efeitos.

Além de decompor o consumo de energia na indústria utilizando o método que não foi utilizado anteriormente para dados brasileiros, método que se mostra livre de resíduos, este trabalho inova ao utilizar o consumo de energia oriundo exclusivamente do aumento da atividade econômica, excluindo variações de intensidade energética e mudanças estruturais da indústria, para estimar as elasticidades renda, preço e preço cruzados para o consumo de energia na indústria.

Como propostas para futuros trabalhos complementares, repetir os métodos utilizados para determinar variáveis que influenciam a intensidade energética se mostra de grande importância, uma vez que tal variável está ligada a eficiência energética.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, S. S. Tipificação dos instrumentos de políticas de apoio à eficiência energética: a experiência mundial e o cenário nacional. 2007, 187p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3 ed. Brasília,. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>. 2017.

ANG, B. W.; ZHANG, F. L. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, v. 25, p. 1149 – 1176. 2000.

ANG, B. W.; LIU, F. L. A new energy decomposition method: Perfect in decomposition and consistente in aggregation. *Energy*, v. 26, p. 537 – 547. 2001.

ANG, B. W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?. *Energy Policy*, Hastings, v. 32, p. 1131-1139. 2004.

CHOI, K-H; ANG, B. W. Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference. *Energy Economics*, Singapore, v. 25, p. 615-624. 2003.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Anuário Estatístico de Energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Plano Nacional de Energia 2030 – Eficiência Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>. 2007a. Acesso em: 02 nov. 2017.

ENDERS, W. *Applied econometric time series*. New York: John Wiley and Sons, 1995. 433p.

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

GREENING, L. A; DAVIS, W. B; SCHIPPER, L; KHRUSHCH, M. Comparison of six decomposition methods: application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries. *Energy Economics*. Singapore, v. 19, p. 375-390. 1997.

GREMAUD, A. P., VASCONCELLOS, M. A. S. de, JÚNIOR, R. T.. *Economia Brasileira Contemporânea*. 7. ed. São Paulo: Editora Altas, 2009. 659p.

HOWARTH, R. B; SCHIPPER, L; DUERR, P. A; STROM, S. Manufacturing energy use in eight OECD countries: Decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity. *Energy Economics*. Singapore, v. 13 n. 2. 1991. p. 135-142.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Contas Nacionais Trimestrais*. [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2121/cnt\\_2019\\_4tri.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2121/cnt_2019_4tri.pdf). 2019.

JOHANSEN, S.; JUSELIOUS, K. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration: with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, n.52, p. 169 – 219, 1990.

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

MACHADO, G. V., SCHAEFFER, R.. A inserção do Brasil na nova ordem internacional: uma nova ordem energética mundial?. *Revista Brasileira de Energia*, Itajubá, v. 4, n. 1. p. 1-12, 1995.

MATTOS, L. B., LIMA, J. E.. Demanda residencial de energia elétrica em Minas Gerais: 1970 – 2002. *Nova Economia*, Belo Horizonte, v. 15 n. 3, p. 31-52. set./dez. 2005.

MOTTA, R. S.; ARÚJO, J. L. Decomposição dos efeitos de intensidade energética no setor industrial brasileiro. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, Rio de Janeiro, v.19 n.1 p. 113-132. Rio de Janeiro, 1989.

PARK, S. H., DISSMANN, B., NAM, K. Y.. A cross-country decomposition analysis of manufacturing energy consumption. *Energy*. Aalborg, v. 18, n. 8. p. 843-858. 1993.

PIRES, J. C. L., GOSTKORZEWICZ, J., GIAMBIAGI, F. O cenário macroeconômico e as condições de oferta de energia elétrica no Brasil. Rio de Janeiro: IPEA, 2001. 35 p. (Textos para Discussão, 85).

ROSSI, J. W., DAS NEVES, C. *Econometria e Séries Temporais*. LTC. Rio de Janeiro. 2014.

SALAZAR, M. B. Demanda de energia na indústria brasileira: efeitos da eficiência energética. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. 2012.

SCHMIDT, C. A. J., LIMA, M. A. M.. A demanda por energia elétrica no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v. 58 n. 1, p. 67-98. jan./mar. 2004



## IMPACTOS DOS CHOQUES DO PETRÓLEO SOBRE A ECONOMIA BRASILEIRA (2002 - 2015)

Edson Ramos de Medeiros<sup>1</sup>

Júlio Vicente Cateia<sup>1</sup>

Marcos Minoru Hasegawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal do Paraná*

DOI: 10.47168/rbe.v27i1.542

### RESUMO

O artigo analisa os efeitos dos choques de petróleo no comportamento das variáveis macroeconômicas da economia brasileira, tendo o período de 2002 a 2015 como referência e utilizando o modelo VECM. Os coeficientes de curto prazo sugerem que choques no preço do petróleo impactam negativamente, mesmo que em pequena magnitude, o PIB e a taxa de câmbio, contudo não exercem influência sobre inflação, juros, o agregado monetário M1 (soma do papel-moeda em poder do público e dos depósitos a vista) e taxa de desemprego. No longo prazo, os coeficientes de ajustamento mostram a interligação entre o mercado do petróleo, o mercado de emprego, variação da inflação, M1 e dos juros. Os vetores de cointegração indicam forte relação inversa do preço do petróleo e PIB, inflação e desemprego. As funções impulso-respostas mostram que inicialmente a inflação, PIB, juros, câmbio e M1 respondem negativamente a choques do petróleo, mas ao longo do tempo se recuperam e se estabilizam no longo prazo. O desemprego apresenta elevação inicial e depois cai, seguindo trajetória inversa ao PIB, como esperado. Desta forma, tais resultados mostram que o desenho das políticas no âmbito macroeconômico – políticas que busquem impulsionar o crescimento, política de combate ao desemprego, a política monetária e a política cambial – devem considerar efeitos decorrentes de elementos externos, como choques do petróleo, pois estes afetam a estrutura dos preços relativos e pode comprometer os objetivos de tais políticas.

Palavras-chave: Choques do petróleo, Economia Brasileira, Modelo VECM.

### ABSTRACT

This paper analyzes the effects of oil shocks on the macroeconomic variables in the Brazilian economy from 2002 to 2015 by using the VECM

model. Short-term coefficients suggest that oil price shocks have a negative impact, even in small magnitude, on GDP and the exchange rate; however, they do not influence inflation, interest, the monetary aggregate M1 (sum of the physical currency in circulation and demand deposits) and unemployment rate. In the long run, the adjustment coefficients show the interconnection between the oil market, the employment market, variation in inflation, M1 and interest rates. Cointegration vectors indicate a strong inverse relationship between oil prices and GDP, inflation and unemployment. At a first moment, the impulse-response functions show that inflation, GDP, interest rates, foreign exchange and M1 respond negatively to oil shocks, but they recover over time and stabilize in the long run. Unemployment shows an initial increase and then falls, following an inverse trajectory to GDP, as expected. These results show that policies design at the macroeconomic level - policies that seek to boost growth, policies to combat unemployment, monetary policy and exchange rate policy - must consider effects arising from external elements, such as oil shocks, which impact the structure of relative prices structure and may compromise the objectives of such policies.

Keywords: Oil shocks, Brazilian economy, VECM Model.

## 1. INTRODUÇÃO

O petróleo exerce influência sobre a economia mundial. A literatura mostra que a variação de seus preços provoca impactos sobre as atividades econômicas, bem como sobre a política macroeconômica das nações. Atualmente, os possíveis efeitos do petróleo tem sido motivo de preocupação mundial, visto que os choques de elevação de preço podem influenciar o desempenho de economias ao redor do mundo.

A economia mundial, assim como a brasileira – mesmo que esta tenha sido menos afetada dada a fase de crescimento e uso de políticas anticíclicas no período aqui considerado –, passou neste novo século por recessões, com alterações no câmbio, inflação, taxa de desemprego, taxa de juros, moeda disponível ao público. Uma gama de trabalhos – Darby (1982), Hamilton (1983), Sachs (1986), Mork (1989), Mork et. al. (1994), Hamilton (2003), Blanchard e Gali (2008), Hamilton (2003), Rodriguez e Sanchez (2005), Cologni e Manera (2007), dentre outros – mostra desde os primeiros choques do preço do petróleo a relação existente entre as flutuações do preço do petróleo e variáveis macroeconômicas, ou seja, elevações do preço da commodity petróleo têm efeitos sobre economias.

O presente estudo busca responder um conjunto de questões macroeconômicas: qual o impacto dos choques do petróleo sobre o

nível de atividade econômica e quais são as respostas de longo prazo das demais variáveis macroeconômicas a tais choques? Como estas tendem a se comportar diante de um choque de preços de petróleo?

O propósito deste trabalho é analisar o impacto dos choques de petróleo sobre o nível de atividade econômica e política monetário no Brasil, para o período de 2002 a 2015. Especificamente, a pesquisa analisa, através da modelagem de vetores autorregressivos cointegrados (VECM), os efeitos dos choques do petróleo sobre o comportamento da flutuação do produto, inflação, câmbio, desemprego, taxa de juros e  $M1^1$  da economia brasileira.

O recorte temporal decorre de conjunção de fatores. Primeiro, a partir de 2002 verifica-se uma acentuada e constante elevação dos preços do petróleo, caracterizando, de certa forma, o que se convencionou chamar na literatura de choque do petróleo. Segundo, a partir de 2014 o preço do petróleo passa a reduzir, atingindo ao fim de 2015 níveis de preços semelhantes ao verificados em início de 2002. Além disso, a partir de final de 2015 e durante 2016 o Brasil passa por certa convulsão social e forte instabilidade política, que pode ter impactado a economia brasileira e conseqüentemente influenciar os resultados do modelo. Além disso, por serem dados de distintas fontes, tivemos problemas de compatibilização de dados. Assim, em decorrência destes fatores, optou-se por fechar o período em análise de 2002 a 2015.

Além dessa introdução, o trabalho é composto por uma seção referente a uma revisão de literatura, com aspectos teóricos e empíricos. Na seção seguinte apresenta-se a metodologia VAR, a base de dados e as variáveis. A quarta seção corresponde aos resultados do estudo. Por fim, tem-se algumas considerações finais.

## **2. CHOQUES DE PETRÓLEO: BREVE REVISÃO DE LITERATURA**

O que subjaz a discussão deste trabalho é o argumento de que as variáveis macroeconômicas podem ser impactadas por choques externos, tais como choques do petróleo. O petróleo exerce um papel importante na economia mundial, representando durante décadas um elemento essencial da matriz energética em vários países, tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento. As acentuadas elevações de preço ocorridas na década de 1970, sob controle da Organização dos Países Produtores de Petróleo (OPEP), confirmou de forma consistente

---

<sup>1</sup> Consiste, segundo o BACEN (2021), Blanchard (2017), Mankiw (2015) e Lopes e Vasconcellos (2014), no agregado monetário composto pelo papel moeda em poder do público mais depósitos à vista, sendo o agregado mais líquido gerado pelas instituições emissoras de haveres monetários, pois são recursos prontamente disponíveis para pagamento de bens e serviços.

a influência que o petróleo exerce sobre as variáveis macroeconômicas da economia mundial.

As elevações bruscas dos preços do petróleo nessa década ficaram conhecidas na literatura econômica como primeiro choque do petróleo que, segundo Blanchard e Gali (2008), teve implicações negativas e marcantes sobre as taxas de crescimento das economias e sobre as taxas de inflação. A variação do preço do petróleo afeta a economia mundial por meio de uma distinta gama de mecanismos de transmissão, indo desde sua influência direta ou indireta nos preços ao consumidor, taxa de crescimento, taxa de juros e câmbio (DORNBUSCH & FISCHER, 1991).

De fato, as alterações do preço do petróleo impactam tanto o lado da oferta quanto o lado da demanda. Os efeitos adversos dos choques dessa natureza transmitem para a economia como todo, via oferta, através da sua influência direta sobre os altos custos de produção. A elevação do custo de produção pode gerar diminuição do nível de produto da economia, e como consequência provocar redução do nível de emprego. Como a sensibilidade de produto em relação a custos de produção é muito alta em países em desenvolvimento, pois custos mais elevados tendem a realimentar aumentos de preços de bens fins quase na mesma velocidade dos choques, a demanda dos consumidores tende a diminuir, tornando o produto cada vez menor, podendo levar economias ao estágio de recessão (MATOS, 2015).

Tal efeito poderia se verificar por meio dos mecanismos da política monetária, em flutuações positivas do preço de energia e petróleo (choque de oferta), ao incorrer em aumento dos preços, eleva à inflação, podendo reduzir renda disponível dos agentes, bem como pode afetar o M1, e em último caso pode reduzir a demanda agregada da economia e consequentemente a atividade econômica e o nível de desemprego. (PINDYCK & ROTEMBERG, 1984).

Os choques do petróleo também impactam a taxa de juros e câmbio. O seu efeito sobre os juros decorre do fato de que uma elevação da inflação interna associada a elevações de preço do petróleo pode incentivar a adoção de uma política por parte da autoridade monetária orientada para diminuir a inflação via elevação dos juros, a um certo patamar compatível com a estabilidade dos preços. A incerteza e volatilidade da taxa de juros e câmbio impactam a demanda por moeda e qualquer fator que afeta a demanda por moeda deve alterar a renda dos agentes (CELIKOV & ARSLAN, 2011).

Já quanto o câmbio e inflação, de maneira geral, espera-se que, a correlação entre preço do petróleo e câmbio para países exportadores seja no sentido de apreciação do câmbio com aumento do preço da commodity, podendo elevar a contração das suas exportações. Para economias cujo comércio exterior tem papel fundamental na ge-

ração do produto, uma redução das exportações pode implicar queda do produto. Ademais, os impactos sobre inflação tendem a não se mostrarem significativos nesses países. Os países importadores de petróleo, caso brasileiro, tendem a apresentar desvalorização da moeda (depreciando o câmbio) quando o preço da commodity se eleva, promovendo processo inflacionário, levando a autoridade monetária a agir, subindo a taxa de juros para manter sob controle a inflação, que conseqüentemente vem a influenciar consumo, produto e desemprego (PEERSMAN & VAN ROBAYS, 2012).

Assim, os mecanismos e conseqüências decorrentes dos choques do petróleo se propagam muitas vezes de forma compacta e conjuntamente encadeados, não apresentando geralmente comportamento de maneira isolada.

No campo dos trabalhos empíricos, desde os primeiros choques do petróleo ocorridos da década de 1970, vários estudos foram realizados, tanto investigando as causas como as implicações da elevação dos preços do petróleo. Dado o enfoque do presente tratado faz-se a seguir uma breve revisão dos estudos empíricos buscando estudar as conseqüências dos choques do preço dessa commodity.

Darby (1982), estudou efeitos dos dois primeiros choques de petróleo em 5 países de economia desenvolvida (Alemanha, Canadá, Estados Unidos, Holanda e Reino Unido), constatando que os choques podem provocar redução de renda.

Hamilton (1983), em trabalho seminal, fazendo uso da metodologia VAR, desenvolvida por Sims (1980), estuda a relação entre preço do petróleo e as recessões americanas ocorridas pós segunda guerra mundial, concluindo que sete das oito recessões registradas na economia americana foram imediatamente após elevações de preço da commodity petróleo. Ademais, mostra que todas as variáveis da economia americana utilizadas e analisadas em sua pesquisa sofrem mudança de trajetória após escaladas do preço do petróleo.

Sachs (1986), realizou importante estudo de cunho mais teórico, com construção de modelo macroeconômico. A partir deste, conclui que os países estudados sofreram com recessão economia decorrente dos primeiros choques do petróleo ocorridos nos anos 1970.

Mork (1989) e Mork et. al. (1994) analisam os efeitos das flutuações do preço do petróleo nas economias e obtiveram que os impactos não se mostram simétricos dadas flutuações positivas e negativas do preço do petróleo, uma vez que quando se registra queda no preço do petróleo está não impacta positivamente o PIB dos países, como inversamente acontece quando o preço da commodity se eleva. Lee et al. (1995), realizam estudo mediante modelagem VAR, analisando a relação entre preço do petróleo e crescimento econômico. Como resultado apresentam que os choques do preço do petróleo exercem maior

influência recessiva em países onde os preços do petróleo se mostram mais estáveis.

A partir dos anos 2000, surge alguns trabalhos contestando a relação entre variações do preço da commodity petróleo e a atividade econômica. Como resposta, Hamilton (2003) realiza robusto estudo, com uso de transformação não-linear, concluindo que a relação existe. Já Barsky e Kilian (2001), em estudo por meio de um VAR, concluem que flutuações do preço do petróleo influenciam de forma mais incisiva os preços ao consumidor, contudo tem efeito reduzido sobre o PIB. Barsky e Kilian (2004), publicam estudo em que concluem que os choques do petróleo não exercem tanta influência sobre as variáveis macroeconômicas como se defende na maioria da literatura, sendo as recessões decorrentes das condições econômicas que passam as economias.

Jiménez-Rodriguez e Sanchez (2005), em estudo realizado para países industrializados da OCDE, analisam os impactos dos choques do petróleo sobre variáveis reais da economia, e seus resultados mostram que os efeitos não são lineares. Os resultados corroboram os estudos de Mork da década anterior, mostrando que variações positivas do preço do petróleo impactam o PIB negativamente, enquanto não necessariamente o inverso se verifica. Já Cunado e Garcia (2005) publicam estudo para países asiáticos, investigando a relação de preço de petróleo, atividade economia e inflação, para período de 1975 a 2002. Os autores não verificam relação de longo prazo entre as variáveis analisadas, contudo identificam causalidade de Granger em alguns países, no que se refere a atividade e o preço do petróleo.

Cogni e Manera (2007), publicam, por meio de uso de VAR, estudo para G-7 em que analisam os efeitos diretos dos choques de preço do petróleo sobre a produção e preços e a reação das variáveis monetárias a choques externos. As principais conclusões são: i) demanda estacionária por moeda, conforme aponta teoria clássica da moeda ii) com exceção do Japão e do Reino Unido, a hipótese nula de influência dos preços do petróleo sobre a taxa de inflação não pode ser rejeitada, sendo os choques da taxa de inflação transmitidos à economia real aumentando as taxas de juros; iii) se verifica diferentes reações de política monetária aos choques inflacionários e de crescimento, bem como que em alguns países parte significativa dos efeitos do choque do preço do petróleo se deve à função de reação da política monetária, enquanto que na França, Canadá e Itália, o impacto total é compensado, pelo menos em parte, por uma flexibilização das condições monetárias.

Em estudo semelhante, contudo, para seis países da OCDE, Jiménez-Rodriguez (2008), por meio VAR, avalia os efeitos dinâmicos dos choques de preços do petróleo sobre a produção das principais in-

dústrias de manufatura. Como resultado, apresentam que um choque do preço do petróleo se dá de forma distinta entre os países analisados, contudo semelhantes para Reino Unido e EUA.

Farzanegan e Markwardt (2007) publicam artigo que analisa, por meio de VAR, a relação dinâmica entre choques assimétricos de preço do petróleo e grandes variáveis macroeconômicas no Irã. Obteve-se que aumentos (diminuições) nos preços do petróleo têm impacto positivo (negativo) significativo na produção industrial. Por outro lado, mostram que não existe impacto significativo da flutuação do preço do petróleo sobre os gastos reais do governo. Ademais, verificou-se que preço do petróleo apresenta relação positiva com a inflação, ou seja, aumento no preço do petróleo eleva nível geral de preços, bem como as respostas das importações reais e a taxa de câmbio real aos choques assimétricos dos preços do petróleo são significativas.

Mais recentemente, Bastianin et al. (2015) publicam trabalho para oito países localizados no Mediterrâneo, em que analisam as respostas a choques exógenos de oferta de petróleo, com ênfase na atividade econômica e no setor industrial. Eles mostram que diferentes economias respondem diferentemente a alterações do preço do petróleo, pois tal resposta depende da dependência energética de cada país, bem como da sua composição no produto agregado.

Na seção seguinte é apresentada a metodologia de pesquisa utilizada para tentar captar o comportamento das principais variáveis macroeconômicas do Brasil como resposta aos choques do petróleo.

### **3. METODOLOGIA**

A presente seção está dividida em duas subseções. A primeira apresenta a metodologia de modelos de vetores autorregressivos e a segunda corresponde a apresentação dos dados e variáveis da pesquisa.

#### **3.1 Modelos de vetores autorregressivos**

Nesta seção discutimos o modelo teórico e algumas questões econométricas importantes relativas ao estudo de relação dinâmica entre as variáveis. A seguir discute-se um dos desenvolvimentos de macroeconometria mais importantes nos últimos 25 anos: a modelagem de Vetor Autoregressivo (VAR) cointegrado. A motivação para o uso da abordagem VAR cointegrado decorre do fato de que os ciclos de flutuações das séries econômicas geralmente são inter-relacionados e, portanto, uma especificação tomando ambas as dinâmicas de curto e longo prazo não apenas fornece um quadro flexível e tratável

das covariações no tempo, mas também porque proporciona resultados que são politicamente importantes (BUENO, 2008).

O modelo teórico macroeconômico para a economia brasileira é representado aqui por meio de um sistema de equações. Tomando um modelo VAR bivariado:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} \\ a_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{10} \\ b_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ z_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_y & 0 \\ 0 & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{yt} \\ \varepsilon_{zt} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$AX_t = B_0 + B_1X_{t-1} + B\varepsilon_t \quad (2)$$

Generalizando para um VAR de ordem  $p$ :

$$AX_t = B_0 + B_1X_{t-1} + \dots + B_iX_{t-i} + B\varepsilon_t \quad (3)$$

em que  $X_t=(X1t, \dots, Xit)$  é vetor com as variáveis aleatórias ( $y_t$  e  $z_t$ ) expressas endogenamente;  $B_0$  é um vetor de constantes de ordem  $nx1$ ,  $B_i$  denota matriz de coeficientes de ordem  $nxn$ ,  $B$  é uma matriz diagonal de desvios de ordem  $nxn$ , e  $\varepsilon_t=(\varepsilon1t, \dots, \varepsilon it)$  é um vetor de dimensão  $nx1$ , representando erros aleatórios não observados independentes e identicamente distribuídos com média zero e variância constante, ou  $\varepsilon_t \sim i.i.d(0, \rho)$  onde  $\rho$  é a matriz que contém estruturas de variância e covariância, sendo positivamente definida. A independência entre os choques estruturais se justifica porque eventuais inter-relações entre um choque e outro são captadas de forma indireta pela matriz  $A$ .

Este é um modelo estruturado com base na teoria econômica. Uma abordagem estrutural, portanto, gera estimativas a partir de comportamentos subjacentes dos agentes econômicos. Contudo, uma vez que as variáveis são endogenamente expressas, frequentemente a estimação requer primeiro encontrar a inversa da matriz de restrições contemporâneas  $A$ . Trata-se, Segundo Hamilton (1994) e Bueno (2008) de um procedimento conhecido como a forma reduzida e consiste em pré-multiplicar todos os elementos dessa equação por  $A$  da seguinte forma:

$$X_t = A^{-1}B_0 + A^{-1}B_1X_{t-1} + \dots + A^{-1}B_iX_{t-i} + A^{-1}B\varepsilon_t \quad (4)$$



OU

$$X_t = A^{-1}B_0 + \sum_{i=1}^p A^{-1}B_i X_{t-i} + A^{-1}B\varepsilon_t \quad (5)$$

Seguindo a propriedade da matriz invertível e definindo  $\phi_0=A^{-1}B_0$  e  $B_i=A\varepsilon_t$ , tem-se:

$$X_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^p \phi_i X_{t-i} + e_t \quad (6)$$

em que,  $\phi_0$  denota a inversa da matriz “A” multiplicada pelo vetor das constantes e  $\phi_i$  é a matriz dos coeficientes.

Com base no teorema da representação de Granger, pode-se reescrever a Equação (6) para um modelo mais geral:

$$\Delta X_t = \phi X_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_i \Delta X_{t-i} + e_t \quad (7)$$

em que  $\Delta X_t = (X_t - X_{t-1})$  e  $\lambda_i = - \sum_{j=1+i}^{p-1} \phi_j, i = 1, 2, 3, \dots, p-1$

A Equação (7) representa um modelo denominado de modelo de correção de erros, que busca explicar  $\Delta X_t$  através dos fatores de curto prazo,  $\lambda_i$ , e a relação de longo prazo,  $\phi X_{t-1}$ . O componente  $\phi X_{t-1}$  só explica  $\Delta X_t$  se existir cointegração. Mas isso só ocorre se  $\phi(I)=0$ , isto é, se há raiz unitária, tal que  $\phi=\beta\alpha'$ , sendo  $\beta$  a matriz de r vetores de cointegração e  $\alpha$  a matriz com r vetores de ajustamento (BUENO, 2008, p.214).

Para especificar os modelos, ou escolher a ordem de defasagem dos processos estocásticos, recorre-se aos critérios tradicionais, como AIC, BIC e HQ e, em seguida, verifica-se se os resíduos estimados são processos ruídos brancos, através das estatísticas do teste Ljung-Box (teste Q).

Vale ressaltar que em uma análise de séries temporais, a estacionariedade é uma condição necessária para que se possa estimá-las.

Em termos práticos, conforme consta em Bueno (2008), os testes de KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin), de Dickey e Fuller Aumentado (ADF, em inglês) e de PP (Phillips e Perron) são geralmente utilizados para verificar se as séries do modelo são estacionárias. Entretanto, devido à minimização do problema do baixo poder do teste, comum no ADF e PP, cada vez mais é recorrente na literatura o teste de KPSS. Por essa razão, no presente estudo utiliza-se apenas esse último teste.

Enquanto isso, com base nos resultados das estimativas do modelo VAR é possível gerar a função resposta ao impulso e a decomposição das variâncias das séries estudadas. Trata-se de uma análise economicamente fundamental, porque o interesse se volta em saber os efeitos dos choques sobre as variáveis do modelo. A denominação impulso é porque se trata de perturbações que podem afetar o comportamento das variáveis (resposta) ao longo do tempo. Portanto, variações de longo prazo dessas variáveis podem decorrer das suas respostas aos choques causados - resposta ao impulso.

Quando os processos são estacionários, portanto, estáveis, os choques tendem a se dissipar muito rapidamente no tempo. Mas quando eles não são estacionários, verifica-se uma trajetória instável no comportamento das séries, sinalizada pelas variâncias explosivas. Adicionalmente, o modelo também pode ser examinado por meio da decomposição da variância. Este procedimento nos permite observar a percentagem da variância do erro de previsão decorrente de cada variável endógena ao longo do horizonte de previsão.

Vale ressaltar que em uma análise de séries temporais, a estacionariedade é uma condição necessária para que se possa estimá-las. Segundo Morettin e Tolo (1985), uma série é dita estacionária se seus dois primeiros momentos (média e variância) são constantes e se a covariância depender apenas da defasagem temporal e não de todo o período que é calculada. Mas quantos mais se diferencia as séries, ou seja, quanto mais se recua no tempo, começa-se a perder o seu sentido econômico. Entretanto, a não estacionariedade das séries significa que elas têm uma dinâmica em comum, traduzida em componente de curto prazo e longo prazo.

Engle e Granger (1987) argumentam que, se cada elemento de um vetor de séries temporais  $x_t$  é estacionário na primeira diferença e uma combinação linear  $a'x_t$  é estacionária, então, as séries temporais são ditas cointegradas, sendo  $\alpha$  o vetor de cointegração. Ou seja, duas séries são cointegradas se têm a mesma ordem de integração. No entanto, segundo Bueno (2008), se as combinações lineares de variáveis  $I(2)$  com variáveis  $I(1)$  resultarem em processo estacionário e se há três variáveis,  $X$ ,  $Y$ , e  $Z$ , sendo  $X \sim I(1)$ ,  $Y \sim I(2)$  e  $Z \sim I(2)$ , então deve prevalecer a maior ordem de integração e diz-se que há multicointegra-

ção, isto é, há cointegração de variáveis com diferentes ordens de integração.

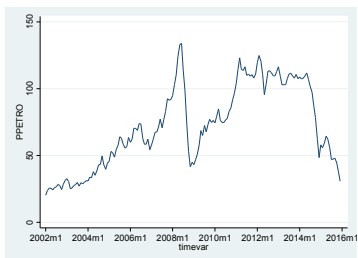
### 3.2 Dados e fontes

Para análise dos efeitos dos choques do petróleo e estimação do modelo foram utilizadas sete variáveis macroeconômicas. Além do preço do petróleo *brent* tem-se as seguintes variáveis: produto interno bruto, inflação (índice de preço ao consumidor amplo - IPCA), taxa de câmbio, desemprego, taxa de juros e um agregado monetário (M1). Os dados mensais, em valores reais – com início em janeiro de 2002 e fim em dezembro de 2015 – foram coletados junto as instituições/órgãos nacionais e internacionais. No Quadro 1, elaborado pelos autores, apresenta-se as variáveis com suas respectivas unidades e fontes. A relevância apontada na literatura, teórica e empírica, das relações existentes entre o preço do petróleo e estas variáveis, apresentadas na Seção 2, justificam as escolhas das variáveis utilizadas no modelo.

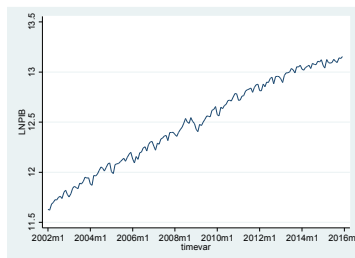
Quadro 1 - Variáveis e fontes

| Variável   | Descrição  | Unidade            | Fonte   |
|------------|--|--------------------|---|
| PPETRO     | Preço mundial do petróleo <i>brent</i>   | Dólares por barril | Federal Reserve Bank of St. Louis (US. Energy Information Administration) |
| LNPIB      | Logaritmo natural Produto interno Bruto  | R\$ (milhões)      | BACEN, IPEADATA   |
| Inflação   | Inflação/ Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo  | Varição porcentual | IBGE/SNIPC, IPEADATA  |
| Câmbio     | Taxa de câmbio comercial para compra: real (R\$)/dólar americano (US\$) – média  | R\$                | BACEN, IPEADATA   |
| Desemprego | Taxa de desemprego/ pessoas desempregadas (30 dias de referências) de 10 anos ou mais de idade, por Regiões Metropolitanas | Porcentagem        | IBGE/PME, IPEADATA  |
| Juros      | Taxa de juros: Overnight/Selic   | Porcentagem (a.m)  | BACEN, IPEADATA   |
| LNMI       | Logaritmo natural do Agregado monetário M1 - Meios de pagamento e componentes – Média                                      | R\$ (milhões)      | BACEN, IPEADATA   |

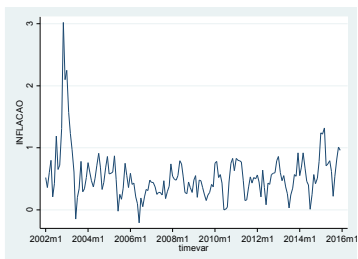
Na Figura 1, elaborada pelos autores, apresentam-se os gráficos em que se pode verificar como se comportaram, ao longo do período analisado, as sete séries utilizadas para o estudo.



Preço do Petróleo Brent



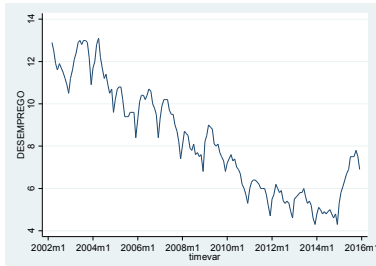
PIB (em logaritmo natural)



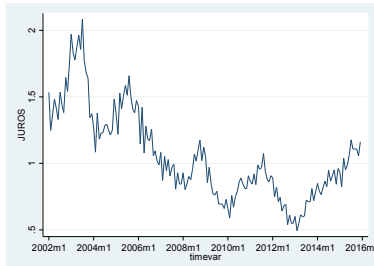
Inflação



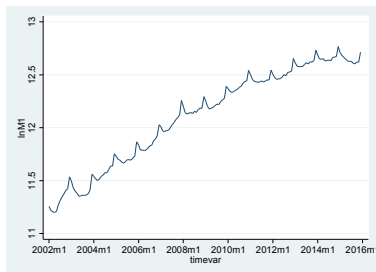
Câmbio



Desemprego



Juros



M1 (em logaritmo natural)

Figura 1 - Séries históricas das variáveis do modelo (jan/2002 – dez/2015)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais resultados do modelo econométrico especificado e os efeitos sobre o comportamento da economia são discutidos nesta seção. Antes de tudo, os testes iniciais na modelagem autorregressiva de série temporal foram apresentados na subseção 4.1 e sugerem que o modelo que melhor ajusta aos dados é o VECM. Os resultados desse modelo são discutidos na subseção 4.2. Na subseção 4.3 apresentam-se os resultados das funções impulso-resposta, com os possíveis comportamentos das variáveis macroeconômicas, dado os níveis de preço do petróleo.

### 4.1 Testes e diagnóstico para a modelagem

A subseção apresenta os testes necessários à modelagem autorregressiva. Primeiro tem-se o teste de estacionariedade, seguido do critério de seleção da ordem de defasagem do modelo VECM, e posteriormente teste de cointegração de Johansen.

#### 4.1.1 Teste de estacionariedade e critério de seleção

Na Tabela 1, elaborada pelos autores, foram reportados os principais resultados de um teste de raiz unitária. O teste KPSS sugere que todas as variáveis do modelo não são  $I(0)$ , porque as estatísticas calculadas são maiores que as estatísticas críticas aos níveis de significância convencionais, levando a rejeitar a hipótese nula de estacionariedade da série temporal. Diante disto, todas as séries de variáveis foram diferenciadas e submetidas ao mesmo teste. Quando se toma as primeiras diferenças das variáveis em questão, verifica-se que, com a exceção do câmbio, elas são integradas de primeiro ordem, isto é, são  $I(1)$ , considerando o nível de significância de 5%, o qual possibilitou a não rejeitar a hipótese nula. Embora a própria variável CAMBIO não seja estacionária ao nível de significância de 5%, ela é estacionária a 10%.

Tabela 1 - Teste de raiz unitária

| Série Temporal | Teste KPSS                 |                    |                            |                    |
|----------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
|                | Ordem de integração $I(0)$ |                    | Ordem de integração $I(1)$ |                    |
|                | Estatística Calculada      | Valor Crítico a 5% | Estatística Calculada      | Valor Crítico a 5% |
| Prod_MA        | 0.469                      | 0,146              | 0.0274                     | 0,146              |
| Prod_BA        | 0.203                      | 0,146              | 0.0192                     | 0,146              |
| Prod_CE        | 0.24                       | 0,146              | 0.0235                     | 0,146              |

Tabela 1 - Teste de raiz unitária (continuação)

| Série Temporal | Teste KPSS               |                    |                          |                    |
|----------------|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------|
|                | Ordem de integração I(0) |                    | Ordem de integração I(1) |                    |
|                | Estatística Calculada    | Valor Crítico a 5% | Estatística Calculada    | Valor Crítico a 5% |
| Prod_ES        | 0.212                    | 0,146              | 0.0375                   | 0,146              |
| Prod_GO        | 0.169                    | 0,146              | 0.0244                   | 0,146              |
| Prod_MG        | 0.327                    | 0,146              | 0.0253                   | 0,146              |
| Prod_PA        | 1.020                    | 0,146              | 0.0222                   | 0,146              |
| Prod_PR        | 0.661                    | 0,146              | 0.0258                   | 0,146              |
| Prod_PE        | 0.442                    | 0,146              | 0.0601                   | 0,146              |
| Prod_RJ        | 0.495                    | 0,146              | 0.0189                   | 0,146              |
| Prod_RS        | 0.423                    | 0,146              | 0.0248                   | 0,146              |
| Prod_SC        | 0.318                    | 0,146              | 0.0432                   | 0,146              |
| Prod_SP        | 0.510                    | 0,146              | 0.0291                   | 0,146              |

Nota: As observações são de janeiro/2003 a julho/2016.  $p < 0,10:0.146$ ;  $p < 0,05:0.119$ ; e  $p < 0,01:0.216$ . Se o valor da estatística calculada for superior ao da crítica, diz que a série temporal apresenta raiz unitária, isto é, ela é não estacionária. Caso contrário a série é dita estacionária a partir do número de defasagem considerado.

Verificado que se trata de um processo integrado e estacionário em primeiras diferenças, a ordem da defasagem do modelo VAR ou VECM pode ser descoberta aplicando os critérios sequenciais tradicionais para definir qual seria a sua ordem máxima. Os critérios de informação Akaike (AIC), Bayesiano e Schwarz (BIC) e Hannan-Quinn (HQC) não apresentaram significância estatística na mesma ordem de defasagem, conforme mostra a Tabela 2, elaborada pelos autores. Entretanto, levando em consideração o fato de que o critério de BIC tende a penalizar mais do que os demais critérios de informação, pode-se inferir que o modelo de série temporal é um modelo com a ordem de defasagem máxima de dois.

Tabela 2 - Critério de seleção da ordem de defasagem do VECM

| Lag | LL      | LR      | P     | AIC      | HQC      | BIC      |
|-----|---------|---------|-------|----------|----------|----------|
| 0   | 322,69  |         | 0,000 | 3,9216   | -3,8672  | -3,7876  |
| 1   | 461,753 | 278,13  | 0,000 | -5,0404  | -4,6052  | -3,9686* |
| 2   | 545,38  | 167,25  | 0,000 | -5,4705  | -4,6545* | -3,4609  |
| 3   | 613,886 | 137,01  | 0,000 | -5,7128  | -4,5161  | -2,7654  |
| 4   | 680,442 | 133,11* | 0,000 | -5,9309* | -4,3533  | -2,0457  |

Nota: Os asteriscos indicam os melhores, isto é, os mínimos valores dos respectivos critérios de informação. AIC = critério de Akaike, BIC = critério Bayesiano de Schwarz, e HQC = critério de Hannan-Quinn.

#### 4.1.2 Teste de cointegração de Johansen

A não estacionariedade das variáveis em nível sugere que a média e a variância sejam não finitas e podem mudar ou serem consideravelmente explosivas ao longo do tempo. A análise de cointegração torna-se fundamentalmente necessária neste contexto de processos integrados.

Por isso, o teste traço de Johansen foi aplicado para identificar a existência de cointegração e quantos vetores de cointegração realmente existem no modelo. O teste foi baseado em um modelo com seis defasagens e uma tendência constante, e os autovalores foram usados para realizar o cálculo da estatística do traço. Partindo do teste com posto máximo de zero, rejeitamos fortemente a hipótese nula de que não há cointegração, inferindo, portanto, que as variáveis do modelo são de fato cointegradas. A mesma interpretação se aplica para os postos 1 e 2, para o nível de significância de 5% e para o posto 3, se considerado o nível de significância de 10%. A interpretação semelhante, contudo, não se aplicaria para os ranks superiores e, em geral, concluiu-se que existem no máximo três relações de cointegração, visto que em 4 não se rejeitou a hipótese nula, conforme mostra a Tabela 3, elaborada pelos autores.

Tabela 3 - Teste de cointegração de Johansen – teste do traço

| Rank Máximo | Parâmetros | Autovalores | Traço  | Probabilidade |
|-------------|------------|-------------|--------|---------------|
| 0           | 56         | 0,3625      | 201,33 | 0,0000        |
| 1           | 69         | 0,2714      | 130,19 | 0,0000        |
| 2           | 80         | 0,1999      | 80,145 | 0,0051        |
| 3           | 89         | 0,1274      | 44,908 | 0,0911        |
| 4           | 96         | 0,0751      | 23,376 | 0,2356        |
| 5           | 101        | 0,0565      | 11,042 | 0,2123        |
| 6           | 104        | 0,0116      | 1,8525 | 0,1735        |

Ademais, salienta-se que foram realizados testes de normalidade, correlação e de mal especificação, não apresentando problemas.

#### 4.2 Os efeitos de curto e longo prazo sobre as variáveis macroeconômicas a partir do modelo VECM (2)

Tendo determinado a existência de equações de cointegração

entre o preço internacional do petróleo, o PIB, a taxa de inflação, o câmbio, o desemprego, a taxa de juros e a oferta monetária na economia brasileira, procede-se a análise estimando o modelo multivariado de cointegração VECM para essas sete variáveis. O interesse particular nesta estimação é obter os coeficientes VECM de curto prazo (Tabela 4 - elaborada pelos autores), os parâmetros de ajustamento de longo prazo e os parâmetros nas equações de cointegração VECM (Tabela 5 - elaborada pelos autores).

Ainda que o modelo permita verificar a relação dinâmica entre as variáveis, o foco principal é sobre o impacto do choque recente do petróleo sobre as demais variáveis do modelo. Para facilitar a visualização da Tabela 4, onde são reportados os coeficientes de curto, lê-se nas linhas as variáveis dependentes e nas colunas as variáveis independentes, ou seja, as respostas das variáveis em linha às variações nas variáveis em coluna. Portanto, em cada coluna os valores fora de parênteses são os coeficientes estimados e os valores entre parênteses são os seus respectivos erros-padrão.

A dinâmica do PIB ( $d\_PIB$ ) brasileiro no curto prazo é significativamente (5%) influenciado pelo preço internacional do petróleo ( $d\_PPETRO$ ), contudo, a magnitude do choque é relativamente baixa (0.0009%). Isso pode indicar que no período em que se verificou alta no preço do petróleo em mercados internacionais, a economia brasileira já havia saído em períodos de forte instabilidade e as flutuações do produto estavam respondendo as políticas internas de investimento numa época em que se elevava também a produção nacional do petróleo. No mesmo horizonte de tempo, verifica-se que a inflação brasileira ( $d\_INFLACAO$ ) não é influenciada pelo preço internacional do petróleo; a magnitude da estimativa é de apenas -0.002 e não é significativa do ponto de vista estatístico.

As estimativas do modelo também mostraram que há uma relação dinâmica de curto prazo entre o câmbio e o preço internacional do petróleo. Esta relação é negativa e estatisticamente significativa ao nível de 5%, ou seja, a moeda nacional perde poder de troca frente à moeda estrangeira. Isso pode ser analisada numa perspectiva de equilíbrio geral. A significância do coeficiente sugere que, no curto prazo, o mercado cambial e o mercado de petróleo são interligados e as informações fluem rapidamente entre os agentes que neles operam, de tal maneira que há efeitos de transmissão de preços, sinalizando que, quando se analisa a dinâmica de formação de preços do petróleo em determinado período de tempo, não se deve ignorar seus possíveis impactos sobre os preços relativos. Isso é politicamente importante porque sugere que a variação da taxa de câmbio brasileira não responde somente as medidas políticas da autoridade cambial, mas que há um outro conjunto de fatores de curto prazo, incluindo choques externos na



oferta, que efetivamente pode agir no sentido de desvalorização cambial, mesmo que a intenção fosse de uma política voltada a fornecer incentivos às exportações. Todavia, salienta-se que a magnitude do efeito sobre o câmbio são se mostra muito elevado para o período em análise, resultado parecido ao encontrado por Matos (2015), possibilitando a autoridade monetária a ter poder de atuação na busca por redução dos impactos negativos.

Enquanto isso, o desemprego, a taxa de juros e a oferta monetária, não são influenciados pelo preço internacional do petróleo, pelo menos no curto prazo. Este efeito é sugerido não apenas pela não significância dos coeficientes estimados dessas variáveis, mas porque suas magnitudes são também muito baixas.

Desta forma, para um retrato como o da economia brasileira no período analisado, percebe-se que o aumento dos preços do petróleo no mercado internacional tende a impactar PIB e câmbio no curto prazo, mesmo que em pequena magnitude. Por outro lado, as demais variáveis não se mostraram comportamentalmente afetadas significativamente no curto prazo.

Tabela 4 - Modelo VECM – coeficientes de curto prazo

| Variáveis               | PPETRO <sub>(t-1)</sub> | LNPIB <sub>(t-1)</sub> | INFLACAO <sub>(t-1)</sub> | CAMBIO <sub>(t-1)</sub> | DESEMPREGO <sub>(t-1)</sub> | JUROS <sub>(t-1)</sub> | M1 <sub>(t-1)</sub>   |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|
| PPETRO <sub>t</sub>     | -0,2964**<br>(0,0776)   | -6,3130<br>(16,2899)   | -0,5991<br>(1,2194)       | 0,9149<br>(4,5214)      | 1,4047<br>(1,2760)          | 1,6876<br>(3,7122)     | 10,9655<br>(14,0388)  |
| LNPIB <sub>t</sub>      | -0,0009**<br>(0,0003)   | 0,5215**<br>(0,0755)   | 0,0200**<br>(0,0056)      | 0,0011<br>(0,0209)      | -0,0061<br>(0,0059)         | -0,0849**<br>(0,0172)  | -0,0727<br>(0,0650)   |
| INFLACAO <sub>t</sub>   | -0,0020<br>(0,0042)     | 0,4826<br>(0,4826)     | -0,4215**<br>(0,0664)     | 1,0529**<br>(0,2461)    | 0,0706<br>(0,0694)          | -0,1568<br>(0,2021)    | 1,4575**<br>(0,7644)  |
| CAMBIO <sub>t</sub>     | -0,0024*<br>(0,0013)    | 0,0205<br>(0,2808)     | 0,0046<br>(0,0210)        | -0,3917**<br>(0,0779)   | -0,0395*<br>(0,0220)        | -0,0004<br>(0,0640)    | -0,4772**<br>(0,2420) |
| DESEMPREGO <sub>t</sub> | -0,0011<br>(0,0056)     | -0,2263<br>(1,180)     | 0,1061<br>(0,0883)        | 0,1166<br>(0,3275)      | -0,15371*<br>(0,0924)       | 1,2034**<br>(0,2689)   | 4,6746**<br>(1,0170)  |
| JUROS <sub>t</sub>      | -0,0016<br>(0,0014)     | 1,4526**<br>(0,3107)   | 0,0209<br>(0,0232)        | -0,1996**<br>(0,0862)   | -0,0332<br>(0,0243)         | -0,7400**<br>(0,0708)  | 0,9298**<br>(0,2678)  |
| M1 <sub>t</sub>         | 0,0001<br>(0,0005)      | -0,1505<br>(0,1079)    | -0,0062<br>(0,0080)       | 0,0258<br>(0,0299)      | -0,0365**<br>(0,0084)       | -0,1144**<br>(0,0245)  | -0,7386**<br>(0,0930) |

Uma análise economicamente importante na modelagem VECM é a verificação do modo como comportam as variáveis no longo prazo. Tal verificação pode ser feita observando os coeficientes de ajustamento e os parâmetros das equações de cointegração. Assim, além dos coeficientes de curto prazo acima apresentados, procedemos estimando os parâmetros de ajustamento e os coeficientes de cointegração para todas as variáveis consideradas do modelo VECM, conforme apresentado na Tabela 5, elaborada pelos autores. A Coluna 2

contém informações sobre os coeficientes de in-formações sobre os coeficientes de ajustamento de longo prazo, que apresentaram resultados muito intuitos; eles se ajustam em direção a um equilíbrio dinâmico de longo prazo, no qual informações sobre os choques do petróleo são relevantes para a economia brasileira, principalmente em relação à política de emprego e de combate à inflação.

Os coeficientes sugerem que os choques de longo prazo do preço do petróleo têm impactos significativos e persistentes em variáveis macro da economia brasileira. Ou seja, ambos os choques serão incorporados à dinâmica e, portanto, oscilações no preço internacional do petróleo, por exemplo, deve ser vista pelas autoridades de política econômica brasileira como um motivo de preocupação, porque ajustamentos nas principais variáveis macroeconômicas, como o PIB, o emprego (ou, inversamente, o desemprego), os juros e a moeda sempre incorporam outra dinâmica de ajuste decorrente do mercado internacional do petróleo. Em especial, o PIB, a taxa de crescimento da oferta monetária, a taxa de desemprego, as taxas de juros se apresentam interligados com o mercado de petróleo. Isso pode ser verificado pela significância estatística dos parâmetros associados a cada uma dessas variáveis. Não se pode dizer a mesma coisa para a inflação e o câmbio, pois reportam coeficientes que são estatisticamente insignificantes para qualquer nível de significância de até 10%.

Quando as predições sobre o choque do preço do petróleo forem satisfeitas, diz-se que *PPETRO* está além do seu valor de equilíbrio porque seu coeficiente na equação de cointegração é positivo (Coluna 3). Isto significa que se o preço do petróleo for muito alto, além do nível compatível com o emprego dos fatores, seu momento de pico implicaria uma redução acentuada no PIB, e que qualquer política para a contenção da inflação interna provocada pelo aumento dos custos de produção teria como impacto inicial um elevado custo de desemprego nacional. O coeficiente de *PPETRO* indica esta tendência de que quando o preço médio do petróleo for muito alto, o PIB, desemprego e a inflação de longo prazo caem significativamente. A queda do câmbio, da taxa de juros e da oferta monetária não têm quedas relevantes do ponto de vista estatístico. Ou seja, o PIB, o desemprego e a inflação têm uma tendência comum com o preço do petróleo no longo prazo, ao passo que a taxa cambial, a taxa de oferta monetária e a taxa de juros têm tendências diferentes uma da outra.

Tabela 5 - Vetores de cointegração e Vetores de ajustamento

| Variáveis               | Vetor de ajustamento de Longo prazo | Vetor de Cointegração 1   | Vetor de Cointegração 2  | Vetor de Cointegração 3 |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| PPETRO <sub>t</sub>     | 0,0023<br>(0,007)                   | 1,0000<br>(0,0000)        | 1                        | 6,62e-24                |
| LNPIB <sub>t</sub>      | 0,0005<br>(0,0003)**                | -2952,341<br>(169,8186)** |                          | 1                       |
| INFLACAO <sub>t</sub>   | 0,0004<br>(0,0004)                  | -59,5763<br>(18,1413)**   | -187,1827<br>(17,5248)** | -0,1044<br>(0,0149)**   |
| CAMBIO <sub>t</sub>     | 0,0001<br>(0,0001)                  | -2,0845<br>(38,9410)      | 188,4347<br>(31,6812)    | -0,1043<br>(0,0270)**   |
| DESEMPREGO <sub>t</sub> | 0,0024<br>(0,0005)**                | -45,4345<br>(16,3699)**   | -55,7952<br>(13,7005)**  | -0,0156<br>(0,0116)     |
| JUROS <sub>t</sub>      | 0,0007<br>(0,0002)**                | -72,115 7<br>(61,5180)    | -53,0464<br>(55,1174)    | -0,0179<br>(0,0469)     |
| M1 <sub>t</sub>         | -0,0002<br>(0,0000)**               | -102,2439<br>(213,1771)   | 574,2508<br>(209,4359)** | 0,6236<br>(0,1784)**    |

Uma das dificuldades de se lidar com modelos cujas variáveis são cointegradas é a forma de identificar os parâmetros livres na própria equação de cointegração. Na ausência de restrições teóricas, Johansen (1991) propôs um esquema de identificação padrão, no qual mostra que, se existem  $r$  equações de cointegração, então ao menos é necessário  $r^2$  restrições para identificar parâmetros livres na equação de cointegração, tal como a apresentada na Coluna 3. Os resultados das Colunas 4 e 5 foram obtidas a partir desse procedimento de Johansen para a identificação. Os coeficientes nestas duas colunas são diferentes por causa da mudança no vetor normalizado. Focando na Coluna 4, que é o resultado reportado quando se normaliza o primeiro vetor, conclui-se que existe ligação de longo prazo entre o preço internacional do petróleo, o mercado interno de trabalho, a política de inflação, a política cambial e a decisão da oferta monetária. Os resultados desses coeficientes são extremamente altos e estatisticamente significativos.

Em suma, os resultados demonstram que no curto prazo o preço internacional do petróleo tem impactos estatisticamente significativos sobre o PIB e o câmbio. Os sinais dos coeficientes sugerem que se o preço do petróleo aumentar o PIB diminui, consistente com o estudo de JIMENEZ-RODRIGUEZ (2008), que concluiu que choques no preço do petróleo tem impactos negativos no PIB dos países importadores. A taxa de inflação, a taxa de juros, a taxa de desemprego e a taxa de oferta monetária, por sua vez não se mostram influenciadas pela variação do preço do petróleo. O coeficiente estimado da inflação, em particular, tem um sinal negativo e é insignificante, o que não está de acordo com o estudo de JIMENEZ-RODRIGUEZ (2008), pelo menos

no curto prazo, pois ela encontrou uma relação positiva entre essas duas variáveis. No longo prazo os vetores de cointegração e vetores de ajustamento mostraram que as variáveis de PIB, desemprego, os juros e o agregado monetário (M1) sofrem efeitos decorrentes do mercado internacional do petróleo.

#### 4.3 Função impulso-resposta das variáveis macroeconômicas

Para captar a reação do desemprego, inflação, câmbio, oferta monetária, taxa de juros e PIB a choques de um desvio-padrão no vetor de preço internacional do petróleo, foram gerados os gráficos da função impulso-resposta, os quais estão retratados na Figura 4 e compreendem um período de doze meses. Deve-se salientar que, no presente estudo, esta análise tem intuito não necessariamente de previsão, mas sim análise de possíveis comportamentos das variáveis macroeconômicas em economias como a brasileira, frente a choques do preço internacional do petróleo.

De modo geral, os gráficos mostram que as respostas não são similares para todas as variáveis e para todo o período, contudo apresentam um certo padrão (como esperado), como efeitos iniciais mais acentuados, se dissipando e atenuando no decorrer do tempo, com tendência um ponto estacionário. O gráfico (I) mostra a dinâmica do choque do preço do petróleo sobre si ao longo do tempo. Os choques dessa natureza foram expressivamente negativos no primeiro mês, mas dissiparam rapidamente nos meses subsequentes. A intuição disso é que um elevado preço do petróleo no período corrente não poderia realimentar continuamente esses mesmos preços no período seguinte. Assim, altas de preços são, portanto, seguidos de períodos curtos de suas baixas, porque logo o preço de petróleo seguirá o curso normal dos negócios.

Olhando para o gráfico (II), que ilustra a reação da taxa de inflação brasileira a choques no preço do petróleo no período de 2002 a 2015, verifica-se que em alguns meses ocorreram picos mais elevados, enquanto em outros se tem uma relativa estabilidade na reação da inflação a mudanças no preço do petróleo. Os choques do petróleo provocou inicialmente forte efeito negativo sobre a inflação, mas a partir do final do terceiro para o começo do quarto mês desse mesmo ano tais choques, ainda que persistentemente negativos, foram aliviados graças a recuperação dos setores produtivos nacionais que agora puderam cobrir altos custos do insumo petróleo mediante uma capacidade de produção também em alta que lhes permite ofertar uma produção maior aos consumidores no mercado nacional a um preço final compatível com as condições de equilíbrio. Os efeitos dos choques do preço internacional do petróleo se dissiparam vagarosamente no tem-

po, e os processos retomam suas trajetórias de longo prazo apenas no décimo mês.

Os efeitos sobre o PIB apresentam um comportamento muito particular (gráfico III). Num primeiro momento, o PIB tem uma resposta muito rápida e contrária a choques positivos desse preço, com forte queda do produto. Contudo, após esse impacto inicial, o PIB passa a responder positivamente a choques no preço do petróleo ( $d\_PPE-TRO$ ). Em geral, após esses impactos iniciais, os choques se dissiparam e a renda interna seguiu a sua trajetória de longo prazo. Este resultado da reação transitória e estável do PIB aos choques no preço do petróleo, em geral, pode ser atribuído não só a recuperação da economia brasileira no começo dos anos 2002 após duas décadas de instabilidade macroeconômica profunda, mas também a um conjunto de políticas específicas de promoção do emprego.

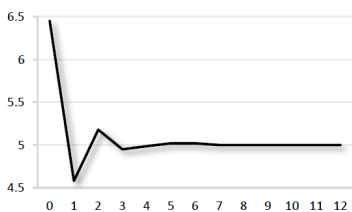
Em relação ao câmbio, a função impulso-resposta (gráfico IV) ilustra que, no primeiro momento, a variável câmbio ( $d\_CAMBIO$ ) reage de maneira negativamente forte a choques no preço do petróleo ( $d\_PPETRO$ ). Isto sugere que se os agentes criaram expectativas a respeito de variações significativas no preço internacional do petróleo e se num determinado momento de negócios essas expectativas não se confirmarem, a pressão sobre a demanda e oferta de divisas posteriormente gerarão um desequilíbrio nesse mercado, provocando mudanças significativas nos preços relativos. Este fato pode ser evidenciado num segundo, período em que os mecanismos que regem estes mercados tornam as trocas factíveis, quando choques de preços causaram reações positivas no câmbio. No entanto, após este período, os choques do preço se dissiparam, enquanto o câmbio seguia sua trajetória de longo prazo dependente do regime cambial vigente. Também é possível verificar que choques dos preços do petróleo sobre o desemprego, vide gráfico (V) da Figura 4. Em um primeiro momento, geram forte reação positiva na taxa de desemprego ( $d\_DESEMPREGO$ ), porém, nos meses seguidos a tais choques, o nível de desemprego caiu grandemente – mostrando-se, como esperado, inverso ao PIB – para depois apresentar uma tendência a estabilidade.

Quando se analisa a reação da taxa de juros ( $d\_JUROS$ ) a choques no preço do petróleo no mercado internacional, verifica-se que, para qualquer mudança ocorrida neste preço, os juros domésticos tendem a cair agudamente inicialmente e depois se elevar (Gráfico VI). Embora nos meses subsequentes o impacto não seja tão forte como no período inicial, não há tendência a dissipação dos choques ao longo do tempo e, portanto, os juros não se mostram temporalmente estável. A resposta da oferta monetária ( $d\_M1$ ) é mais forte nos primeiros meses de cada ano. Observa-se forte queda inicial, mas estabilizam-se nos meses subsequentes para depois seguirem seu curso de cresci-

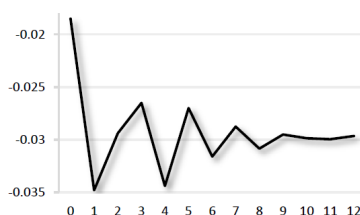
mento de longo prazo estável, quando os choques já dissiparem por completo. A variável mostra trajetória – em termos de tendência – semelhante ao PIB, contudo com certa defasagem em relação a este.

Em geral, as funções impulso-resposta para o choque de preço de petróleo, apresentaram efeitos iniciais com sinais esperados, conforme literatura discutida na revisão. Obteve-se respostas negativas para inflação, PIB, juros, câmbio e M1, e impacto positivo no desemprego. Exceção, neste panorama, talvez seja a resposta inicial da taxa de juros, que poderia subir desde início, como observado em trabalho para a economia brasileira, em Matos (2015). Após esse primeiro impacto o que se percebe é resposta das variáveis no sentido contrário, ou seja, demonstrando indícios de que a economia, com quadro do período analisado, tenderia a rebater os impactos iniciais, atenuando-os no decorrer do tempo, com tendência de estabilização no longo prazo.

Deste modo, os resultados obtidos das estimativas – coeficientes de curto prazo, vetores de cointegração e vetores de ajustamento e as funções impulso-resposta – demonstram, no geral, que o preço internacional do petróleo tem impactos estatisticamente significativos sobre variáveis macroeconômicas em países importadores da commodity, como o caso do Brasil, considerando o panorama e estrutura econômica do período analisado. Portanto, isso mostra que os formuladores de política do Brasil devem considerar tais aspectos em suas tomadas de decisões e de políticas econômicas, pois a variáveis macroeconômicas, tais como as aqui analisadas, tendem a sofrer mudanças de comportamento/trajetórias diante de elementos externos como o preço internacional do petróleo.

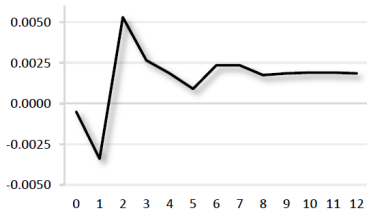


I) Resposta de  $d\_PPETRO$

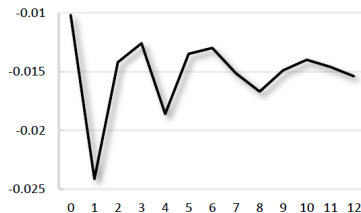


II) Resposta de  $d\_INFLACAO$

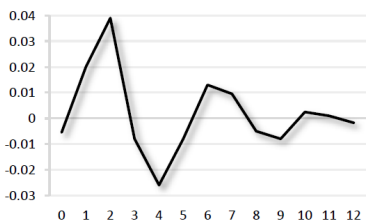
Figura 4 - Função impulso-resposta das variáveis a um choque na variável Preço do Petróleo ( $d\_PPETRO$ ) – Horizonte temporal de 12 meses



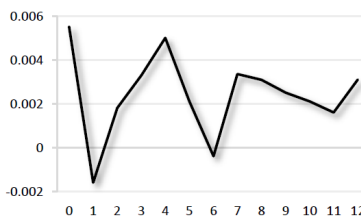
III) Resposta de  $d\_PIB$



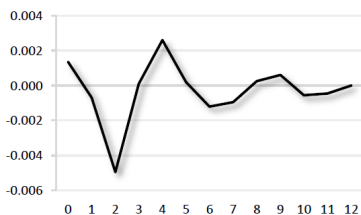
IV) Resposta de  $d\_CAMBIO$



V) Resposta de  $d\_DESEMPREGO$



VI) Resposta de  $d\_JUROS$



VII) Resposta de  $d\_M1$

Figura 4 - Função impulso-resposta das variáveis a um choque na variável Preço do Petróleo ( $d\_PPETRO$ ) – Horizonte temporal de 12 meses (continuação)

## 5. CONCLUSÕES

O objetivo da pesquisa foi analisar o impacto dos choques de petróleo sobre o comportamento das variáveis macroeconômicas do Brasil, tendo como base o período de 2002 a 2015. Especificamente, buscou-se analisar os efeitos dos choques do petróleo sobre o com-

portamento do PIB, inflação, câmbio, desemprego, taxa de juros e M1 da economia brasileira. Para tanto, um modelo de vetores autoregressivos cointegrados foi estimado e reportados resultados para o entendimento da relação dinâmica entre as principais variáveis macroeconômicas fundamentais para políticas cambial, de emprego, juros e da inflação interna.

As estimativas reportadas pelo VECM com variáveis estacionárias em primeiras diferenças mostram que, no curto prazo, choques no preço do petróleo impactam significativamente no PIB e na taxa de câmbio, mas não na inflação, juros, M1 e nem na taxa de desemprego. Uma análise de longo prazo, mediante os coeficientes de ajustamento, contudo, mostra a interligação entre o mercado do petróleo, o mercado de trabalho e as decisões das autoridades econômicas no âmbito da inflação, juros e oferta monetária, resultado este muito consistente com as várias conclusões dos estudos aqui revistos, em particular com os estudos de JIMENEZ-RODRIGUEZ (2008).

Ainda no longo prazo, os vetores de cointegração sugerem que elevação muito alta no preço do petróleo implicaria uma redução acentuada no PIB e nas taxas de inflação e de desemprego nacional. A queda do câmbio, da taxa de juros e da oferta monetária não são relevantes do ponto de vista estatístico. Os resultados obtidos através do processo de normalização de Johansen indicam também a interligação do mercado interno de trabalho, a política de inflação, a política cambial e a decisão da oferta monetária, cujos coeficientes foram grandes em magnitude e estatisticamente significativos.

Pelas funções impulso-respostas, verificou-se que a inflação, juros, câmbio e a oferta monetária inicialmente respondem negativamente a choques do preço do petróleo. Ao longo do horizonte de previsão ambas as variáveis inflação, câmbio e M1 se estabilizam e passam a seguir seus respectivos comportamentos de longo prazo, enquanto os juros continuam numa trajetória mais instável. Os efeitos iniciais dos choques do petróleo tendem a gerar uma rápida redução no PIB, mas depois este passa a responder positivamente, atenuando os impactos iniciais promovidos pela elevação dos preços internacionais do petróleo e posteriormente entrando em certa trajetória estacionária de comportamento de longo prazo. Num primeiro momento, a taxa de desemprego reage positivamente a choques do preço do petróleo, mas nos meses subsequentes, o desemprego cai grandemente – respondendo ao crescimento do PIB seguindo trajetória oposta a este, conforme teoricamente esperado – e se estabilizou no decorrer do tempo.

Assim, conclui-se a partir desses resultados que, à luz de comparação, embora a robustez dos resultados, talvez seja necessária uma análise mais aprofundada da relação dinâmica entre essas variáveis, incluindo adotar outros modelos macroeconômicos e testar o



modelo que melhor se ajusta aos dados em questão. Contudo, o que se obteve neste estudo é que, com a exceção do M1, os coeficientes estimados foram negativos, indicando que choques do petróleo têm impactos negativos sobre o PIB, emprego (positivo para desemprego), inflação, taxa de juros e o câmbio. No longo prazo, os coeficientes de ajustamento sugerem que esta relação se mantém e que a política interna de combate ao desemprego, a política de juros, da oferta monetária e a política cambial devem ser tomadas considerando os possíveis efeitos dos choques exógenos de oferta do petróleo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACEN, 2021. Glossário. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/aces-soinformacao/glossario>>. Acesso em: 18 de mar. de 2021.

BARSKY, R. B.; KILIAN, L. Oil and the Macroeconomy since the 1970s. *The Journal of Economic Perspectives*, v. 18, n. 4, p. 115-134, 2004.

BARSKY, R. B.; KILIAN, L. Do we really know that oil caused the great stagflation? A monetary alternative. *NBER Macroeconomics annual*, v. 16, p. 137-183, 2001.

BASTIANIN, A.; GALEOTTI, M.; MANERA, M. The impacts of exogenous oil supply shocks on Mediterranean economies. 2015.

BLANCHARD, O. J.; GALI, J. The Macroeconomic Effects of Oil Shocks: Why are the 2000s so different from the 1970s?. *National Bureau of Economic Research*, 2007.

BLANCHARD, O. *Macroeconomia*. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

BUENO, R. L. S. *Econometria de séries temporais*. Cengage Learning, 2008.

COLOGNI, A.; MANERA, M. Oil prices, inflation and interest rates in a structural cointegrated VAR model for the G-7 countries. *Energy economics*, v. 30, n. 3, p. 856-888, 2007.

CUNADO, J.; DE GRACIA, F. P. Oil prices, economic activity and inflation: evidence for some Asian countries. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 45, n. 1, p. 65-83, 2005.

DARBY, M. R. The price of oil and world inflation and recession. *The American Economic Review*, v. 72, n. 4, p. 738-751, 1982.

DORNBUSCH, R.; FISCHER, S. *Macroeconomia*. São Paulo: Makron, 1991.

ENDERS, C.K. *Applied missing data analysis*. Guilford Press, 2010.

ENGLE, R.F.; GRANGER, C.W.J. Co-integração e correção de erros: representação, estimativa e teste. *Econometrica: Journal da Sociedade Econométrica*, p. 251-276, 1987.

FARZANEGAN, M.R.; MARKWARDT, G. The effects of oil price shocks on the Iranian economy. *Energy Economics*, v. 31, n. 1, p. 134-151, 2009.

HAMILTON, J.D. *Time series analysis*. Princeton: Princeton university press, 1994.

JIMENEZ-RODRIGUEZ, R. The industrial impact of oil price shocks: Evidence from the industries of six OECD countries. *Energy Economics*, v. 30, n. 6, p. 3095-3108, 2008.

JIMÉNEZ-RODRÍGUEZ, R.; SÁNCHEZ, M. Oil price shocks and real GDP growth: empirical evidence for some OECD countries. *Applied economics*, v. 37, n. 2, p. 201-228, 2005.

JOHANSEN, S. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, p. 1551-1580, 1991.

LEE, K; NI, S.; RATTI, R.A. Oil shocks and the macroeconomy: the role of price variability. *The Energy Journal*, p. 39-56, 1995.

LOPES, L. M.; VASCONCELLOS, A. S. *Manual de Macroeconomia: nível básico e intermediário*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

LÜTKEPOHL, H. *New introduction to multiple time series analysis*. Springer Science & Business Media, 2005.

MANKIW, N. Gregory. *Macroeconomia*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

MATOS, Felipe Martins. *Impacto dos choques do petróleo nas economias Latino-Americanas*. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. *Previsão de séries temporais*. 2ª. Ed. São Paulo: Atual Editora. 1985.

MORK, K. A. Oil and the macroeconomy when prices go up and down: an extension of Hamilton's results. *Journal of political Economy*, v. 97, n. 3, p. 740-744, 1989.

MORK, K.A.; OLSEN, O; MYSEN, H. T.. Macroeconomic responses to oil price increases and decreases in seven OECD countries. *The Energy Journal*, p. 19-35, 1994.

NELSON, C. R.; PLOSSER, C. R. Trends and random walks in macroeconomic time series: some evidence and implications. *Journal of monetary economics*, v. 10, n. 2, p. 139-162, 1982.

PEERSMAN, G.; VAN ROBAYS, I. Cross-country differences in the effects of oil shocks. *Energy Economics*, v. 34, n. 5, p. 1532-1547, 2012.

PINDYCK, Robert S.; ROTEMBERG, Julio J. Energy price shocks and macroeconomic adjustments. *Natural Resources Journal*, v. 24, n. 2, p. 277-296, 1984.

SACHS, J. The debt overhang of the developing countries. 1986.

SIMS, C. A. Macroeconomics and reality. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, p. 1-48, 1980.

VARTANIAN, P. R. Choques Monetários e Cambiais sob Regimes de Câmbio Flutuante nos Países Membros do Mercosul: Há Indícios de Convergência Macroeconômica? *Economia*, Brasília, v.11, n.2, p.435–464, 2010.

## PANORAMA MUNDIAL DO SETOR DE ENERGIAS RENOVÁVEIS - MEDIDAS E AÇÕES PARA COMBATE AOS EFEITOS DA COVID-19

Annelys Machado Schetinger<sup>1</sup>  
Pedro Vardiero Corrêa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro

DOI: 10.47168/rbe.v27i1.524

### RESUMO

Diante da disseminação mundial do novo coronavírus (Sars-Cov-2) e de sua doença clínica (COVID-19), diversos setores mundiais estão enfrentando grandes desafios. Como era de se esperar, os efeitos desta pandemia têm afetado também o setor de energias renováveis. Diante deste cenário, diversos países têm implementado medidas que buscam mitigar os efeitos negativos sobre suas economias e proteger seus cidadãos, o que acaba por abarcar ações voltadas ao setor de renováveis. Neste sentido, o objetivo deste trabalho consiste em realizar um levantamento das principais medidas associadas ao setor de energias renováveis, em alguns países, como Alemanha, Itália, França, Reino Unido, Portugal, Austrália, EUA e China, os quais foram escolhidos por demonstrarem interesse em combater os impactos negativos da pandemia supracitada por meio da formulação de políticas públicas. De forma geral, é possível observar uma gama de ações voltadas à proteção da indústria de renováveis e ao desenvolvimento deste setor, as quais abarcam o trabalho remoto, redução da burocracia, digitalização de documentos, dilatação dos prazos acordados anteriormente, auxílios financeiros, dentre outras. Também será analisado o posicionamento do Brasil, com o intuito de comparar as ações nacionais com o resto do mundo.

Palavras-chave: Energias Renováveis, COVID-19, Políticas Públicas.

### ABSTRACT

In view of the worldwide spread of the new coronavirus (Sars-Cov-2) and its clinical disease (COVID-19), several sectors of the world are facing great challenges. As expected, the effects of this pandemic have also affected the renewable energy sector. Given this scenario, several countries have implemented measures that seek to mitigate the negative effects on their economies and protect their citizens, which

ends up encompassing actions aimed at the renewable sector. In this sense, this paper proposes to carry out a survey of the main measures associated with the renewable energy sector, in some countries, such as Germany, Italy, France, United Kingdom, Portugal, Australia, USA and China, which were chosen for their interest in facing the negative impacts of the aforementioned pandemic through the formulation of public policies. In general, it is possible to observe a range of actions aimed at the protection of the renewables industry and the development of this sector, which include remote work, reduction of bureaucracy, digitization of documents, extension of previously agreed terms, financial assistance, among others. The positioning of Brazil will also be analyzed, in order to compare national actions with the rest of the world.

Keywords: Renewable Energy, COVID-19, Public Policies.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Panorama mundial da COVID-19**

Desde fevereiro de 2020, diversos países decretaram quarentena e passaram a implementar fortes medidas de isolamento social. Em março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) decretou o status de pandemia. Os Estados Unidos (EUA) passaram a ser o epicentro da COVID-19, com uma relativa estabilização dos países europeus e uma importante ascensão do número de casos no Brasil (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021a). O número registrado de casos confirmados e de mortes decorrentes da COVID-19 pode ser encontrado na Tabela 1, elaborada com base em World Health Organization (2021a), que traz os dados consolidados, até o nono dia de fevereiro de 2021, para os países selecionados neste trabalho. As Figuras 1 e 2, encontradas em World Health Organization (2021a) e World Health Organization (2021b), por sua vez, retratam a intensidade dos casos confirmados e das mortes registradas, por país, até o dia 2 de fevereiro de 2021.

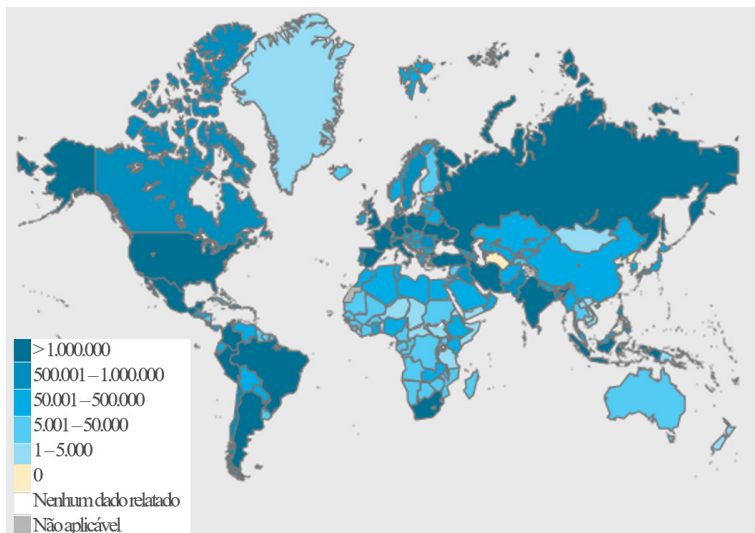


Figura 1 – Número de casos de COVID-19 confirmados, por país – fevereiro de 2021

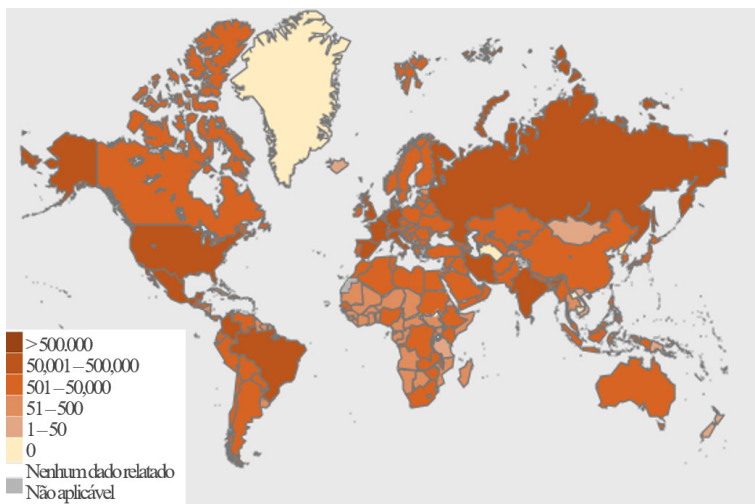


Figura 2 - Número de mortes por COVID-19 confirmadas, por país – fevereiro de 2021

Tabela 1 - Número de casos e mortes registrados, por país do estudo – fevereiro de 2020

| País      | Casos acumulados |             | Mortes acumuladas |              |
|-----------|------------------|-------------|-------------------|--------------|
|           | Ranking          | Nº de casos | Ranking           | Nº de mortes |
| EUA       | 1                | 106.125.682 | 1                 | 2.320.497    |
| Brasil    | 3                | 9.524.640   | 2                 | 231.534      |
| UK        | 5                | 3.959.788   | 5                 | 112.798      |
| França    | 6                | 3.285.786   | 7                 | 79.016       |
| Itália    | 8                | 2.644.707   | 6                 | 91.580       |
| Alemanha  | 10               | 2.291.924   | 9                 | 62.156       |
| Portugal  | 23               | 767.919     | 27                | 14.354       |
| China     | 82               | 101.363     | 49                | 4.831        |
| Austrália | 113              | 28.857      | 92                | 909          |

## 1.2 Impacto da COVID-19 nas Energias Renováveis

A disseminação mundial do coronavírus (COVID-19) tem imposto grandes desafios aos diversos setores e agentes mundiais, devido às medidas de isolamento e barreiras transnacionais (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021a). No setor das energias renováveis, também foi possível verificar uma série de obstáculos desencadeados pela intensificação da pandemia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020a), os quais serão tratados a seguir. Os desafios supracitados também foram abordados em diversos artigos publicados no final do ano de 2020 e início do ano de 2021: Norouzi et al. (2020); Heffron et al. (2021); Yi et al. (2021); Vale et al. (2021); “Solar to Steer Brisk EU Transition from ‘Grey’ to ‘Green’ Hydrogen Economy as Renewables Gain Preference during COVID-19 Pandemic.Pdf - Google Drive” (2021); Halbrügge et al. (2021); Santiago et al. (2021); Hosseini (2020); Tsao et al. (2021); enfatizando a importância do contexto no qual estamos inseridos.

Em diversos países, observa-se uma importante redução na demanda por novos projetos de renováveis devido à grande incerteza associada à pandemia do coronavírus e aos fortes impactos econômicos. Esta redução tem afetado todos os tipos de projeto, desde instalações de geração distribuída, até novos projetos de usinas eólicas e solar centralizadas (WOOD MACKENZIE, 2020a).

A construção das usinas renováveis foi, ainda, afetada pela locomoção limitada dos trabalhadores, que não podem continuar suas atividades nos canteiros de obra e nos telhados dos clientes, respeitando os regu-

lamentos de distanciamento social, o que resultou na queda prevista das instalações de usinas renováveis (WOOD MACKENZIE, 2020b, 2020a). A previsão de instalações de usinas fotovoltaicas (FV), para o ano de 2020, verificou uma queda de 18%, como pode-se constatar na Figura 3, de elaboração própria com base nos dados de Wood Mackenzie (2020a). De acordo com estudo apresentado pela Wood Mackenzie (2020b), as usinas eólicas verificaram uma queda de 4,9% em suas instalações, como pode ser visto na Figura 4, de elaboração própria com base nos dados de Wood Mackenzie (2020b). Além disso, a realização das atividades de Operação e Manutenção (O&M) se torna prejudicada devido à restrição de locomoção dos trabalhadores (PV MAGAZINE, 2020).

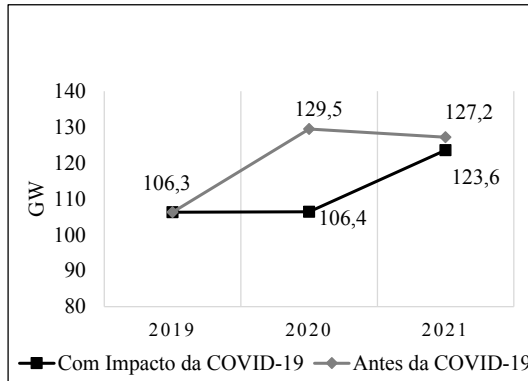


Figura 3 - Previsão da demanda global de instalações de usinas FV, em GW

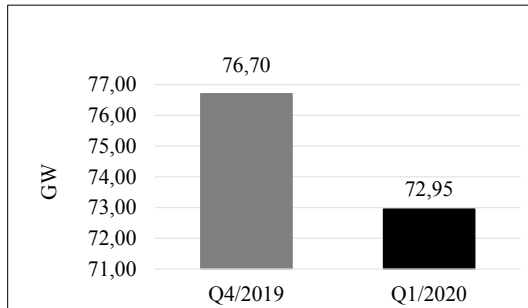


Figura 4 - Perspectivas do mercado global de instalações de usinas eólicas, em GW



Outro efeito verificado nos países considerados neste panorama foi a desvalorização das moedas em relação ao dólar (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020)<sup>1</sup>, o que também prejudica o setor. Isto ocorre porque a maior parte das instalações e construções novas necessitam de equipamentos importados, reduzindo, assim, a competitividade desses investimentos. Como consequência direta da redução dos investimentos e da incerteza observada, tem-se a perda de empregos, diretos e indiretos, em toda a cadeia do setor de renováveis, o que acaba por contribuir com o agravamento da crise econômica decorrente do colapso sanitário (RENEWABLE ENERGY WORLD, 2020).

A pandemia deu início a longos atrasos relacionados à cadeia de suprimentos, produtos e sistemas de energia importados da China, que é o mais importante fornecedor do setor. Os atrasos na cadeia de suprimentos desencadearam uma desaceleração do comércio global, deixando muitos projetos suspensos. Com o atraso na construção das usinas renováveis, diversos empreendimentos encontram-se impossibilitados de entrar em funcionamento no tempo previsto, resultando na perda de receita, possível perda de auxílio dos instrumentos de incentivo e, ainda, multas por atraso no projeto (SOLARPOWER EUROPE, 2020).

Em paralelo, observa-se o adiamento de leilões de energia renováveis, a paralisação das negociações de contratos PPA (*Power Purchase Agreement*), que são acordos ou contratos de compra e venda de energia de longo prazo, e a interrupção de grande parte dos serviços administrativos. Particularmente para as usinas de geração distribuída, a paralisação dos processos administrativos das distribuidoras impede a aquisição de autorização de acesso à rede, dificultando o início de funcionamento, mesmo para aquelas usinas que já se encontram prontas para operar (BIRD&BIRD, 2020).

Diante do contexto da pandemia, sobretudo no primeiro semestre de 2020, foi possível observar uma forte redução da demanda por eletricidade em virtude das restrições impostas ao redor do mundo, que acabaram por afetar a produção industrial e o setor de serviços. Como consequência dessa redução da demanda, naturalmente também houve uma redução da produção de energia elétrica. No entanto, apesar dessa redução na produção total, e de acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), observou-se que

---

1 Foram comparadas as variações das taxas de câmbio dos países selecionados frente ao Dólar para o período entre 02/01/2020 e 25/05/2020. Todos os países apresentaram desvalorização de suas moedas frente ao Dólar, conforme se segue: Real (26,58%), Libra Esterlina (7,54%), Dólar Australiano (6,50%), Euro (2,71%) e Renminbi (2,44%) [Banco Central do Brasil (2020)].

as fontes renováveis foram as únicas a experimentar um aumento na participação relativa da geração total no período da pandemia. Este aumento está associado ao baixo custo operacional que apresentam e às políticas de preferência de despacho/geração encontradas em muitos mercados. Sendo assim, por mais que a geração total nominal possa ter diminuído no início da pandemia, a participação relativa das renováveis neste total aumentou, tendo sido verificado um crescimento de 3% por parte das renováveis na geração total do primeiro trimestre de 2020 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2020b).

Para ilustrar esse movimento, as Figuras 5, 6 e 7, todas de elaboração própria, com base nos dados de International Energy Agency (2020c), reúnem informações das gerações de eletricidade, por fonte, para o primeiro trimestre de 2020, para a União Europeia, China e Estados Unidos, respectivamente. Destaca-se que foi justamente neste período em que se deu início às medidas de confinamento forçado nestas regiões, que são destacados nas figuras pela região pintada em cinza. Fica clara, portanto, a relação entre o início do confinamento mais restrito e o aumento da participação relativa das renováveis nestas jurisdições.

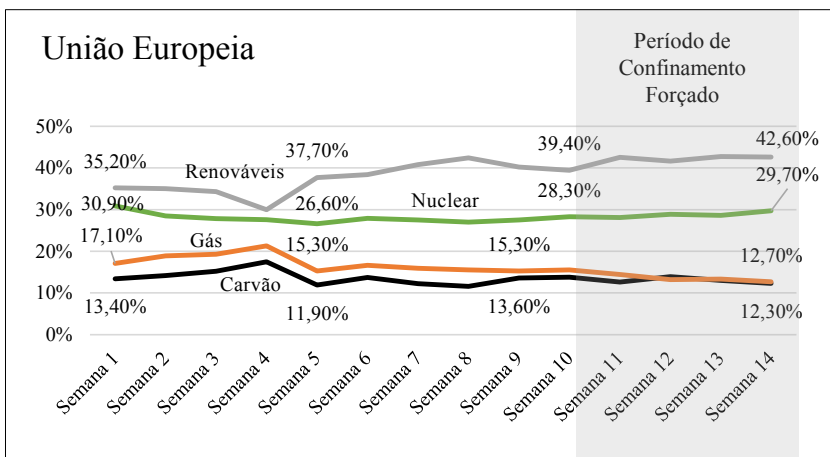


Figura 5 - Mix de Geração de Eletricidade, 1º trimestre 2020  
União Europeia

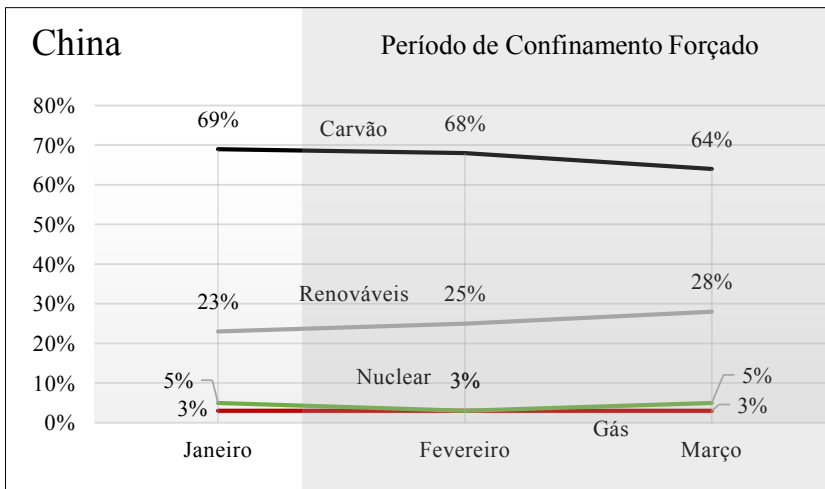


Figura 6 - Mix de Geração de Eletricidade, 1º trimestre 2020 China

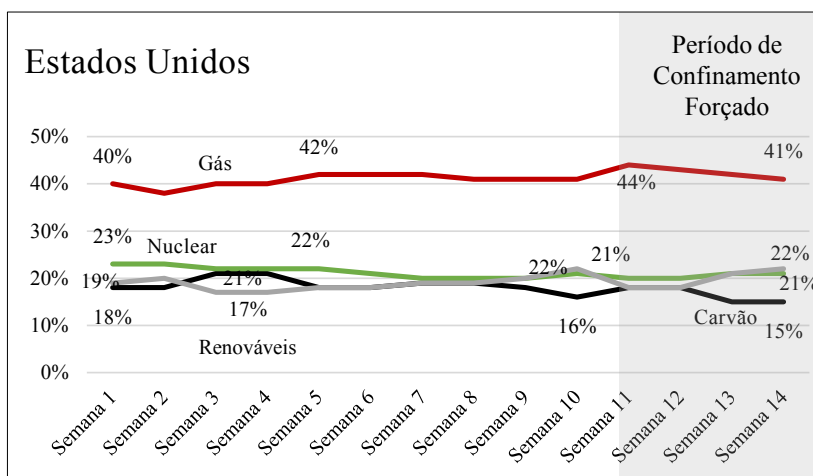


Figura 7 - Mix de Geração de Eletricidade, 1º trimestre 2020 Estados Unidos

Considerando o exposto nesta introdução, este trabalho tem por objetivo analisar as medidas e políticas adotados por diversos países no contexto da pandemia originada pelo novo coronavírus, que afetam ou afetaram diretamente o setor de energias renováveis, registradas até o mês de junho de 2020, as quais ilustram o esforço para combater os impactos negativos ocasionados pela primeira onda de contaminação. Neste sentido, optou-se por selecionar os países mais representativos no que diz respeito ao quantitativo e ao qualitativo das medidas adotadas para mitigar os impactos da COVID-19 e beneficiar o setor de energias renováveis. Assim, este trabalho é composto por três capítulos, incluindo esta introdução. Na sequência, é apresentada a análise das iniciativas em cada país selecionado, considerando as dificuldades enfrentadas de acordo com a realidade de cada país ou região. Por fim, são apresentadas as considerações finais, elencando as medidas mais comuns entre os países analisados.

## **2. MEDIDAS E AÇÕES PARA COMBATE AOS EFEITOS DA COVID-19 NO SETOR DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

### **2.1 Alemanha**

O governo alemão adotou um conjunto de medidas para apoiar as empresas do setor de energias renováveis e, em março de 2020, o Ministério Federal de Economia e Energia (BMWI) e a Agência Nacional de Rede (BNetzA) publicaram um conjunto de medidas especiais de apoio às empresas do setor de energias renováveis (BIRD&BIRD, 2020). Para os projetos de energia renovável que se enquadram na Lei de Energias Renováveis (*Erneuerbare-Energien-Gesetz* - EEG, em alemão), mas que não conseguirão terminar as construções dentro do período estipulado devido à COVID-19, foram adotadas as seguintes soluções:

- Usinas eólicas *onshore* e usinas de biomassa: extensão do período legal de implementação, concedido em aplicações informais e sem burocracia. Multas de atraso não serão cobradas;
- Usinas solares: permissão para solicitar o direito ao prêmio antes da instalação da usina, desde que a usina seja registrada como um projeto no Registro de Dados do Mercado Principal de Energia (MaStR), de modo que o prêmio do leilão não expira.

Em 15 de abril de 2020 o BMWI e o Ministério Federal das Finanças (BMF) criaram um escudo protetor do Governo Federal para pequenas e médias empresas, intitulado “KfW Empréstimo Rápido”, o qual contempla condições especiais de financiamento para auxiliar pequenas e médias empresas nesse momento de crise. Já em 27 de abril

de 2020 o BMWI cria o Ponto de Contato Federal, estabelecido para garantir cadeias de suprimentos transfronteiriças, com objetivo de garantir a produção e a entrega de produtos da cadeia de suprimento de forma segura. E, por fim, em 29 de abril de 2020 foram agendadas as alterações na Lei de Energias Renováveis e decretada a Lei sobre a digitalização dos procedimentos de planejamento e aprovação. As primeiras alterações preveem a extensão dos prazos de implementação das usinas de licitação com contrato celebrado antes do dia 1º de março de 2020, por mais seis meses, enquanto a Lei sobre digitalização visa garantir que muitos projetos importantes não parem ou fracassem devido à pandemia do COVID 19, introduzindo alternativas para medidas processuais utilizando a internet, com prazo definido até 31 de março de 2021.

## 2.2 Itália

O governo italiano implementou várias medidas para apoiar as empresas em geral, dos quais as empresas do setor de renováveis também podem se beneficiar (ELETTRICITÀ FUTURA - IMPRESE ELETTRICHE ITALIANE, 2020), como:

- Decreto-Lei nº 18, de 17/03/2020

Artigo 56 - Implementação de medidas de apoio financeiro à micro, pequenas e médias empresas, com linhas de crédito, empréstimos e facilidades de pagamento;

Artigo 103 - Suspensão de todos os termos para todos os procedimentos administrativos pendentes a partir de 23 de fevereiro de 2020. Prorrogação da validade, até 15 de junho de 2020, de todos os certificados, atestados, concessões, autorizações e atos de habilitação, que expiravam entre 31 de janeiro e 15 de abril de 2020.

- Decreto do Presidente do Conselho de Ministros de 22/03/2020

Todas as atividades destinadas a garantir o fornecimento de bens essenciais, como eletricidade, gás, vapor e ar-condicionado, estão permitidas. A construção, manutenção e operação de usinas de energia são enquadradas nas atividades expressamente permitidas, visando garantir o fornecimento de bens essenciais. As atividades funcionais para garantir a continuidade das cadeias de suprimentos (mesmo que não estejam expressamente listadas) também foram permitidas mediante a entrega de um aviso adequado à Prefeitura competente;

- Deliberação da ARERA (Autoridade Regulatória de Eletricidade, Gás e Água da Itália)

Foi criada uma conta especial para prover recursos financeiros para intervenções regulatórias feitas em favor de consumidores finais. Esta conta seria financiada através da transferência de 1,5 bilhões de Euros de outras contas já existentes, concebidas originalmente para financiar políticas para energias renováveis, medidas de eficiência energética e outras políticas públicas. No entanto, destaca-se que esses recursos devem, posteriormente, retornar às contas de origem. Ou seja, funcionará apenas como um empréstimo (CENTRE ON REGULATION IN EUROPE - CERRE, 2020).

### 2.3 França

O governo francês adotou medidas específicas para o setor de energias renováveis (BIRD&BIRD, 2020), como a seguir:

- Extensão dos prazos para construção, comissionamento e conexão na rede para todos os produtores, independente da tecnologia de geração ou do mecanismo de apoio recebido;
- Cronograma de licitação eólica onshore estendido em seis meses e oportunidade para empreendedores de energia solar de enviar suas propostas até 1º de julho (para 1/3 do volume chamado) conforme planejado e até 1º de novembro (para 2/3 do volume chamado).

Seguidamente, em 25 de março de 2020 foi publicada a Portaria nº 306-2020 com as seguintes deliberações para o setor de energias renováveis (BIRD&BIRD, 2020):

- Concessão de autorização administrativa para as usinas em atraso e suspensão do controle de desempenho;
- Adiamento da obrigação de pagar despesas tributárias e previdenciárias para os produtores e desenvolvedores;
- Garantia estatal de até 300 bilhões de Euros para todos os bancos para empréstimos às empresas do setor, condições de empréstimos facilitadas com adiamento para pagamento da dívida e suspensão de pagamento para empresas que tenham realizado o empréstimo a partir de 16 de março de 2020 pelo BPI France.

### 2.4 Reino Unido

O governo do Reino Unido identificou que, devido à pandemia da COVID-19, pelo menos 250 projetos de energias renováveis próximos à conclusão estavam enfrentando atrasos inevitáveis, sendo inca-

pazes de concluir a construção e realizar o comissionamento a tempo de enviar a solicitação para certificação de apoio do *Feed-in Tariffs* (FiT) pois, para muitos dos projetos, o prazo era até 31 de março de 2020. Como solução o Governo revisou o instrumento de FiT, aprovando a CV-19 Order 2020, a qual posterga de março de 2020 para setembro de 2020 o período para que o produtor de energias renováveis solicite sua certificação para receber o apoio do instrumento de FiT.

O governo aprovou um pacote de medidas gerais para apoiar as empresas que sofreram interrupções no funcionamento e que pode ser aplicado às empresas do setor de energias renováveis (BIRD&BIRD, 2020):

- *Coronavirus Job Retention Scheme* – auxílio para que as empresas em dificuldade continuem pagando o salário dos funcionários;
- *Statutory Sick Pay relief package* – auxílio-doença para pequenas e médias empresas;
- *Coronavirus Business Interruption Loan Scheme* – mecanismos de empréstimo facilitado para pequenas e médias empresas concedido pelo British Business Bank e para grandes empresas pelo Bank of England;
- *Time To Pay* – apoio para as empresas com pendências fiscais e dificuldades financeiras.

## 2.5 Portugal

O governo português adotou a suspensão de cumprimento de prazos e procedimentos administrativos, (SOLARPOWER EUROPE, 2020), dentre eles:

- Suspensão dos prazos processuais regulamentados pela legislação do setor elétrico e pelo Código de Procedimento Administrativo, incluindo os prazos para a prática de atos e formalidades previstos nos editais de licitação, prazos processuais que expirariam durante o período de suspensão serão prorrogados até que seja decretado que essa suspensão terminou;
- Suspensão de novos pedidos para:
  - i. Títulos de reserva de capacidade;
  - ii. Acordos para alocação de capacidade de recepção no RESP (Rede Pública de Energia Elétrica);
  - iii. Registro de pequenas unidades de capacidade e unidades de autoconsumo;
  - iv. Todas as permissões de produção de eletricidade, incluindo as fontes renováveis
- Suspensão da concessão de licenças para infraestruturas de rede

(linhas e extensões, estações transformadoras, subestações, exceto as de serviço público ou privado que se enquadram em situações consideradas de emergência).

Já em 27 de março de 2020 foi realizada uma sessão pública on-line para apresentar o novo leilão de capacidade solar em Portugal para 2020, embora o Secretário de Estado da Energia tenha anunciado que o leilão que seria lançado em maio seria adiado até a normalização do mercado. Bem como, o Ministério do Meio Ambiente e Ação Climática permitiu a emissão de um certificado provisório, em vez do certificado de operação, durante o estado de emergência para unidades de produção com capacidade instalada menor que 1 MW. Essa decisão desbloqueará os procedimentos para um total de 30 MW, em 220 pequenas unidades de produção de energias renováveis. Também optou-se por algumas medidas gerais, das quais o setor de energias renováveis também pode se beneficiar, como: adiamento do pagamento de impostos até o segundo semestre e financiamento com orçamento específico, condições especiais e medidas de auxílio extraordinário para ajudar as empresas em dificuldade (adiamento dos pagamentos de previdência social).

## 2.6 Austrália

O governo australiano, em diversas esferas, adotou medidas para mitigar os impactos da COVID-19 em sua economia. No que se refere à indústria de energia renovável, pode-se segmentar as medidas entre medidas específicas para o setor de renováveis e gerais para a economia, que acabam abarcando o setor. Dentre as específicas, o governo da região de Northern Territory lançou um pacote de estímulo específico para a energia solar e baterias, voltado para o crescimento de empregos no setor e auxiliando a recuperação da economia frente aos efeitos da COVID-19 (CLEAN ENERGY COUNCIL, 2020c; 2020b). As medidas compreendem:

- Famílias e empresas terão direito a um novo suporte de \$ 6000 para a aquisição e instalação de sistemas fotovoltaicos (com baterias e inversores) ou para a aquisição de baterias e inversores para sistemas já existentes; O programa possui orçamento de \$ 800.000 (total de 130 baterias);
- Nova tarifa *Feed-in* padrão de \$ 0,083 por kWh será aplicada a todas as famílias e empresas com novas instalações de sistemas solares “*behind-the-meter*” de até 30 kW;
- Aquisição de sistema de bateria totalizando \$ 30 milhões, com objetivo de trazer estabilidade e confiabilidade para a rede local, que tinha próximo da conclusão o maior projeto de energia solar da região.



O Governo da região de Victoria confirmou, em meio à pandemia, a manutenção, até o fim de 2020, dos descontos para aquisição de sistemas solares e baterias, com descontos entre \$ 1000 e \$ 4174 (CLEAN ENERGY COUNCIL, 2020a).

Adicionalmente, no que diz respeito às medidas gerais adotadas para o setor de energias renováveis, em 30 de março de 2020, o Governo Federal anunciou um esquema de pagamentos para manutenção de emprego da ordem de \$ 130 bilhões, conferindo a possibilidade de empregadores elegíveis requererem pagamentos de \$ 1500 para seus funcionários por um período máximo de até 6 meses e um pacote de assistência a empresas (incluindo pequenas empresas de energia solar) (CLEAN ENERGY COUNCIL, 2020b):

- Estímulo à contratação de aprendizes e estagiários: empresas que contratarem aprendizes e estagiários poderão usufruir de subsídio no salário de 50% entre 1º de janeiro de 2020 a 30 de setembro de 2020;
- Apoio ao fluxo de crédito: o governo irá fornecer uma garantia de 50% aos credores de pequenas e médias empresas para que novos empréstimos não garantidos sejam utilizados para capital de giro; dentre outras medidas.
- Auxílio de fluxo de caixa para empregadores: provisão de até \$ 100.000 para pequenas e médias empresas elegíveis, isto é, com faturamento anual agregado inferior a \$ 50 milhões;
- Aceleração de deduções de depreciação: empresas com um faturamento inferior a \$ 500 milhões poderão deduzir 50% do custo de um ativo elegível na instalação, com as regras de depreciação existentes aplicáveis ao saldo remanescente, até 30 de junho de 2021;
- Ampliação do limite para baixa instantânea de ativos de \$ 30.000 para \$ 150.000 e alteração nos critérios de elegibilidade para incluir empresas com faturamento anual menores do que \$ 500 milhões: possibilidade de utilização desse limite para cortar custos para investir em sistemas solares.

## **2.7 Estados Unidos**

No que se refere à atuação do Governo Federal, não foram encontradas ações e medidas voltadas ao setor de energias renováveis em resposta à crise da COVID-19, fossem elas específicas para o setor ou não, mesmo considerando o pacote de US\$ 2 trilhões aprovado pelo Congresso no final de março (GREENTECH MEDIA, 2020). No entanto, como resposta, muitas foram as iniciativas de agentes e partes interessadas solicitando ações específicas do governo no combate aos efeitos da COVID-19 e que o setor de renováveis fosse contemplado no próximo pacote de estímulo econômico a ser lançado pelo Governo.

De forma geral, os pleitos dos agentes do setor de renováveis envolvem a solicitação de benefícios fiscais, concessão de créditos, extensão de prazos, estímulo à manutenção de emprego, realização de investimentos estratégicos, aumento do orçamento para renováveis do Departamento de Energia, a promoção das fontes renováveis de forma consistente no longo prazo, dentre outras. Como exemplo dessas manifestações, tem-se:

- Carta do Setor de Energia Limpa encaminhada ao Congresso (SOLAR INDUSTRY, 2020b);
- Carta de Senadores ao Secretário do Tesouro Americano (SOLAR INDUSTRY, 2020c);
- Carta da Associação das Indústrias de Energia Solar à Administração de D. Trump (SOLAR INDUSTRY, 2020a);
- Petição da Associação de Nova Iorque ao Congresso (JUSTINE CALMA, 2020);
- Carta Aberta da Comunidade Acadêmica e de Organizações (GREEN STIMULUS PROPOSAL, 2020).

Por outro lado, foram encontradas algumas medidas na esfera estadual e municipal, conforme se segue:

- Estado de Nova Iorque

Lei de Aceleração das Energias Renováveis e Benefícios à Comunidade (03/04) – cria um departamento para melhorar e agilizar o processo de localização de projetos renováveis de maior capacidade, de forma ambientalmente responsável e custo-efetivos, para o estado de Nova Iorque. Espera-se, com a nova legislação, que a localização e construção de projetos de energia renovável sejam acelerados de modo a combater as mudanças climáticas e auxiliar na recuperação econômica do estado frente aos efeitos decorrentes da crise sanitária da COVID-19 (NORTH AMERICAN WIND-POWER (2020).

- Estado da Virgínia

Lei de Economia Limpa (12/04) – objetiva uma completa transição para uma matriz elétrica 100% baseada em fontes renováveis até 2050. Como etapa intermediária, a lei prevê o *phase-out* do carvão até o ano de 2024. Além disso, a transição incluirá metas de eficiência energética, estímulo à geração eólica *offshore* e solar fotovoltaica e à geração distribuída. O governo compreende que, apesar da crise da COVID-19, esta medida reforça o compromisso de uma reconstrução para uma sociedade mais resiliente e saudável (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE, 2020).

Lei sobre Energia Limpa e Preparação Comunitária para Inundações (22/04) – estabelece um programa de cap-and-trade para dióxido de carbono com objetivo de reduzir as emissões de usinas de geração elétrica. Será estabelecido, para tanto, um sistema de leilão baseado em mercado. Através dessa lei, espera-se estimular e promover a geração proveniente de fontes renováveis e limpas (VIRGINIA'S LEGISLATIVE INFORMATION SYSTEM, 2020).

- Cidade de Filadélfia

A Autoridade de Energia da Filadélfia (PEA) reabriu o Solarize Philly, um programa de estímulo à energia solar. O programa foi reaberto frente à pandemia, com intuito de promover emprego e energia limpa para a saúde dos cidadãos, através de subsídios que cobrem até metade dos custos de instalação de um sistema solar para consumidores de baixa e média renda (PHILADELPHIA ENERGY AUTHORITY, 2020).

## 2.8 China

No início de abril, o governo chinês, por meio do Ministério de Finanças, determinou um subsídio para o ano de 2020 no valor de CN¥ 1,5 bilhão (cerca de US\$ 214 milhões). Desse montante, CN¥ 500 milhões são destinados para instalações de painéis fotovoltaicos residenciais e CN¥ 1 bilhão para projetos vencedores de concessionárias, seja de geração distribuída ou projetos centralizados. Neste programa, foram definidos pela Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma da China (NDRC) os preços de eletricidade para projetos solares das concessionárias, tendo sido definido um subsídio de CN¥ 0,05/kWh, enquanto para a geração distribuída residencial, o subsídio definido foi de CN¥ 0,1/kWh. Outra medida implementada pelo Ministério das Finanças, em 29 de abril, diz respeito a descontos no imposto de renda para empresas e indústrias que se localizem na região oeste da China. O desconto, da ordem de 15% e válido até 2030, beneficia a construção e operação de usinas eólicas e solares, e a produção de módulos e células fotovoltaicos (Vincent Shaw, 2020).

Diante das políticas anunciadas para o setor solar em 2020, promovidas pelo Governo Central, as perspectivas para a indústria começaram a melhorar, incentivando governos locais a também implementarem políticas voltadas à sua promoção. Neste sentido, pode-se citar alguns exemplos de iniciativas promovidas por governos locais, conforme se segue (PVNEWS, 2020):

- Guangdong

Em 09/05, a província de Guangdong emitiu um plano de ação para promover novos clusters do setor de energia para o período de 2021 a 2025. Este plano inclui investimentos em geração eólica,

solar e biomassa, que devem alcançar 60 GW em nova capacidade instalada no período.

- Shanghai

Em 06/05, a Comissão de Desenvolvimento e Reforma de Shanghai emitiu um acordo para conservação de energia, redução de emissões e mudanças climáticas, o que inclui a promoção da fonte solar em larga escala e de forma distribuída. Nesta ação, prevê-se a construção e um projeto de demonstração de 200 MW de solar fotovoltaica até o fim do ano.

- Liaoning

Em 30/04, a Comissão Provincial de Liaoning para Desenvolvimento e Reforma decidiu estender o plano de trabalho para geração fotovoltaica até 2025. Assim, já a partir de 2020 serão construídos projetos que totalizam 1,5 GW de capacidade instalada.

- Shanxi Datong

Recentemente, o Governo de Datong publicou um plano que estabelece a continuidade da reforma do seu sistema elétrico ainda em 2020, através da promoção da geração eólica e da solar distribuída.

- Província de Hebei

Em 24/04, o Escritório Geral do Governo em Hebei publicou uma diretriz onde se estabelece que as energias renováveis devem responder por pelo menos 30% da energia final consumida em 2020. Nesta diretriz, se estabelecem fortes investimentos em energias renováveis, que devem totalizar uma capacidade adicionada em 2020 de 13 GW em eólica e 6 GW em fotovoltaica.

## 2.9 Brasil

Até o início de 2021 não foram observadas medidas diretas do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) para combater os efeitos da COVID-19 no setor de energias renováveis. Porém, a redução da demanda total por energia elétrica (AGÊNCIA CANAL ENERGIA, 2020) e incertezas relacionadas à pandemia diminuem o interesse dos investidores e as necessidades de novos leilões, impactando todas as fontes, inclusive as renováveis. Observou-se forte depreciação cambial, que levou à perda de competitividade e ao aumento dos custos das renováveis no país (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020). Ainda como consequência da COVID-19 houve a postergação/adiamento da revisão da Resolução Normativa nº 482/2012, que regulamenta as energias renováveis no país (WAGNER FREIRE, 2020).

De acordo com uma pesquisa realizada pela Greener (2020),

com 541 empresas brasileiras do setor fotovoltaico, entre os dias 19 e 24 de março de 2020, foi possível pontuar os impactos do COVID-19 no mercado fotovoltaico brasileiro, dentre eles:

- Redução dos interessados em adquirir um sistema fotovoltaico;
- Desistência ou adiamento de fechamento de negócios;
- Suspensão total ou parcial das atividades presenciais, sendo apenas mantido o trabalho possível de ser realizado de forma remota;
- Aumento no custo dos equipamentos devido à alta cambial;
- Problemas com a logística e fornecimento dos equipamentos;
- Problemas com o processo de conexão com a rede;
- Afastamento de membros da equipe.

### **3. CONCLUSÕES**

Diante dos desafios que estão sendo enfrentados em razão da alta disseminação do coronavírus, governos de diversos países se mobilizaram e criaram decretos e medidas para auxiliar a mitigar os efeitos negativos da COVID-19. Por parte de alguns países, verificou-se uma preocupação também com o setor de energias renováveis, os quais adotaram medidas direcionadas especificamente ao setor e outras mais gerais, mas das quais o setor de energias renováveis também pôde se beneficiar.

Dentre as medidas adotadas estão: i) as condições facilitadas para empréstimos, juros mais baixos ou até a suspensão do pagamento; ii) suspensão ou digitalização dos procedimentos administrativos, certificados, atestados, concessões, autorizações e atos de habilitação para as usinas; iii) incentivo governamental para implementação de políticas de promoção às energias renováveis; iv) descontos, deduções fiscais, adiamento do pagamento do imposto de renda ou da previdência para empresas do setor de renováveis; v) revisão dos instrumentos de incentivo às renováveis para atendimento das usinas no momento de crise; vi) extensão dos prazos para término de construção, comissionamento e conexão com a rede das usinas renováveis; vii) criação de fundo especial para prover recursos financeiros de intervenções regulatórias e fornecimento de subsídios para setor de renováveis e; viii) emissão de certificados provisórios de operação para as usinas renováveis.

Assim sendo, nota-se que a incerteza no setor de renováveis é sem precedentes, como em todos os setores. Espera-se que os impactos da pandemia, originada pela COVID-19, sejam reduzidos, principalmente nos setores determinantes, garantindo a proteção e recuperação do bem-estar físico, mental e social das pessoas e da coletividade. No entanto, deve estar no centro dos planos dos governos a recupera-

ção econômica, garantindo-se um suprimento estável de energia e uma transição para sistemas de energia mais limpos e sustentáveis.

Ressalta-se, por fim, que a ocorrência dessa pandemia pode ser encarada como uma oportunidade de mudança, baseada no entendimento de que a relação do ser humano perante o seu planeta deve respeitar os limites da sustentabilidade. Propõe-se, desta forma, uma agenda onde o meio ambiente e a saúde da sociedade devem assumir papel de protagonismo, em que a reconstrução pós-pandemia possa ocorrer em direção a uma sociedade mais resiliente, saudável e sustentável. Neste contexto, o emprego da geração renovável torna-se determinante para o atingimento das metas e compromissos, reforçando a necessidade de um crescimento planejado e coordenado para estas fontes ao redor do mundo.

Como visto ao longo do estudo, o impacto no setor elétrico originado pela COVID-19 teve proporções de escala mundial, inclusive nas fontes de geração. Sugere-se para trabalhos futuros a análise dos dados de emissões de gases de efeito estufa (GEE) antes e pós pandemia, no intuito de valorar, qualitativa e quantitativamente, o impacto da pandemia nas emissões de poluentes originárias das cadeias de geração de energia elétrica e as mudanças ocorridas na matriz elétrica mundial em um mundo pós COVID-19.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA CANAL ENERGIA. 2020. “Consumo de Energia Cai 13% Com Isolamento Social Em Abril.” May 8. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53134311/consumo-de-energia-cai-13-com-isolamento-social-em-abril>.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. 2020. “Conversor de Moedas.” <https://www.bcb.gov.br/conversao>.

BIRD&BIRD. 2020. “COVID-19 - A Panoramic View of Measures to Protect the Clean Energy Sector around the World.”

CALMA, J. 2020. “Clean Energy Could Get Americans Back to Work Post-Pandemic.” The Verge. April 30. <https://www.theverge.com/2020/4/30/21243011/clean-energy-renewables-coronavirus-recession-stimulus-unemployment>.

CERRE – Centre on Regulation in Europe. 2020. “COVID-19 & the Role of Energy Regulators: 5 Questions to Clara Poletti.” [https://www.cerre.eu/sites/cerre/files/covid-19\\_the\\_role\\_of\\_energy\\_regulators.pdf](https://www.cerre.eu/sites/cerre/files/covid-19_the_role_of_energy_regulators.pdf).

CLEAN ENERGY COUNCIL. 2020a. “Victoria Confirms Continuation of Solar and Battery Rebates.” April 20. <https://www.cleanenergycouncil.org.au/news/victoria-confirms-continuation-of-solar-and-battery-rebates>.

\_\_\_\_\_. 2020b. “Resources for Businesses Impacted by COVID-19.” May. <https://www.cleanenergycouncil.org.au/industry/resources-for-businesses-impacted-by-covid-19>.

\_\_\_\_\_. 2020c. “Solar Stimulus a Shot in the Arm for COVID-19 Recovery.” May. <https://www.cleanenergycouncil.org.au/news/solar-stimulus-a-shot-in-the-arm-for-covid-19-recovery>.

ELETTRICITÀ FUTURA - Imprese elettriche italiane. 2020. “Information and Update Regarding the COVID-19 Emergency in Italy with Focus on the Power Sector Input to the European Associations,” no. May.

Freire, W. 2020. “Nova Regra Para GD Deverá Sair Ainda Em 2020, Diz Aneel.” Agência Canal Energia. April 30. <https://canalenergia.com.br/noticias/53133653/nova-regra-para-gd-devera-sair-ainda-em-2020-diz-aneel>.

GREEN STIMULUS PROPOSAL. 2020. “A Green Stimulus to Rebuild Our Economy.” Medium. March 22. [https://medium.com/@green\\_stimulus\\_now/a-green-stimulus-to-rebuild-our-economy-1e7030a1d9ee](https://medium.com/@green_stimulus_now/a-green-stimulus-to-rebuild-our-economy-1e7030a1d9ee).

GREENER. 2020. “COVID-19: Mercado Fotovoltaico - Greener.” March 26. [https://www.greener.com.br/covid-19-mercado-solar/?utm\\_campaign=covid-19\\_-\\_mercado\\_solar\\_-\\_base\\_toda&utm\\_medium=email&utm\\_source=RD+Station](https://www.greener.com.br/covid-19-mercado-solar/?utm_campaign=covid-19_-_mercado_solar_-_base_toda&utm_medium=email&utm_source=RD+Station).

GREENTECH MEDIA. 2020. “What the Solar and Wind Power Industries Want From the Next Coronavirus Stimulus Bill.” April 1. <https://www.greentechmedia.com/articles/read/what-the-solar-and-wind-industries-want-from-the-next-coronavirus-stimulus>.

HALBRÜGGE, S.; SCHOTT, P.; WEIBELZAHN, M.; BUHL, H. U.; FRIDGEN, G.; SCHÖPF, M. 2021. “How Did the German and Other European Electricity Systems React to the COVID-19 Pandemic?” *Applied Energy* 285 (March). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.apenergy.2020.116370.

HEFFRON, R. J.; KÖRNER, M. F.; SCHÖPF, M.; WAGNER, J.; WEIBELZAHN, M. 2021. “The Role of Flexibility in the Light of the COVID-19 Pandemic and beyond: Contributing to a Sustainable and Resilient Energy Future in Europe.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 140 (April). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.rser.2021.110743.

HOSSEINI, S. E. 2020. “An Outlook on the Global Development of Renewable and Sustainable Energy at the Time of COVID-19.” *Energy Research and Social Science*. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.erss.2020.101633.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. 2020a. “COVID-19 – Topics - IEA.” <https://www.iea.org/topics/covid-19>.

\_\_\_\_\_. 2020b. “Global Energy Review 2020 – Analysis - IEA.” <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>.

\_\_\_\_\_. 2020c. “Weekly Electricity Data as of 27 April 2020 – Analysis - IEA.” May. <https://www.iea.org/reports/weekly-electricity-data-as-of-27-april-2020>.

NOROUZI, N.; RUBENS, G. Z.; CHOUBANPISHEHZAFAR, S.; ENEVOLDSEN, P. 2020. “When Pandemics Impact Economies and Climate Change: Exploring the Impacts of COVID-19 on Oil and Electricity Demand in China.” *Energy Research and Social Science* 68 (October). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.erss.2020.101654.

NORTH AMERICAN WINDPOWER. 2020. “NY Legislation Creates New Siting Process for Renewables - North American Windpower.” April 6. <https://nawindpower.com/cuomo-passes-renewable-energy-legislation>.

PHILADELPHIA ENERGY AUTHORITY. 2020. “Philadelphia Reopens Solarize Philly Now with the City’s Solar Rebate and Solar Savings Grant Program.” April 22. <https://philaenergy.org/philadelphia-reopens-solarize-2020/>.

PV MAGAZINE. 2020. “Covid-19 Weekly Briefing: Evidence Abounds of Renewable Energy Gains at the Expense of Fossil Fuels as the Clamor for a Green Recovery Rises – Pv Magazine International.” May 6. <https://www.pv-magazine.com/2020/05/06/covid-19-weekly-briefing-evidence-abounds-of-renewable-energy-gains-at-the-expense-of-fossil-fuels-as-the-clamor-for-a-green-recovery-rises/>.

PVNEWS. 2020. “The Positive Signal Continues to Be Released and Only 8 Photovoltaic Policies Are Issued within One Month.” May 13. <http://www.pvnews.cn/a/focus/jiaoyu/12087.html>.

RENEWABLE ENERGY WORLD. 2020. “Clean Energy Job Losses Mount as COVID-19’s Economic Toll Continues - Renewable Energy World.” May. <https://www.renewableenergyworld.com/2020/04/15/clean-energy-job-losses-mount-as-covid-19s-economic-toll-continues/#gref>.

ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE. 2020. “The Clean Economy Act Is a Breakthrough for Virginia and the South.” April 15. <https://rmi.org/the-clean-economy-act-is-a-breakthrough-for-virginia-and-the-south/>.

SANTIAGO, I.; MORENO-MUNOZ, A.; QUINTERO-JIMÉNEZ, P.; GARCIA-TORRES, F.; GONZALEZ-REDONDO, M. J. 2021. “Electricity Demand during Pandemic Times: The Case of the COVID-19 in Spain.” *Energy Policy* 148 (January). Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.enpol.2020.111964.



SOLAR INDUSTRY. 2020a. "SEIA Delivers Letter to Trump Administration." March 12. <https://solarindustrymag.com/the-seia-delivers-letter-to-trump-administration>.

\_\_\_\_\_. 2020b. "Clean Energy Sector Sends Letter to Congress Seeking COVID-19 Relief ." March 20. <https://solarindustrymag.com/clean-energy-sector-sends-letter-to-congress-seeking-covid-19-relief>.

\_\_\_\_\_. 2020c. "U.S. Senators Address Letter to Secretary of the Treasury." April 27. <https://solarindustrymag.com/u-s-senators-address-letter-to-secretary-of-the-treasury>.

"Solar to Steer Brisk EU Transition from 'Grey' to 'Green' Hydrogen Economy as Renewables Gain Preference during COVID-19 Pandemic.Pdf - Google Drive." 2021. Accessed February 21. <https://drive.google.com/file/d/1aRii3UnfsbhpaoanOi67IPAvZjZQTpn8/view>.

SOLARPOWER EUROPE. 2020. "SolarPower Europe COVID-19 Survey." [https://epia01-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/n\\_chevillard\\_solarpowereurope\\_org/ERSBh8IYYEZDkqGKWYq6pUcBAN5iVzbYJFq-F32pKc6j2w?rtime=MMQVxAT810g](https://epia01-my.sharepoint.com/:w:/g/personal/n_chevillard_solarpowereurope_org/ERSBh8IYYEZDkqGKWYq6pUcBAN5iVzbYJFq-F32pKc6j2w?rtime=MMQVxAT810g).

TSAO, Y. C.; THANH, VO VAN; LU, J. C.; WEI, H. H. 2021. "ARisk-Sharing-Based Resilient Renewable Energy Supply Network Model under the COVID-19 Pandemic." *Sustainable Production and Consumption* 25 (January). Elsevier B.V.: 484–98. doi:10.1016/j.spc.2020.12.003.

VALE, M. M.; BERENQUER, E.; MENEZES, M. A.; CASTRO, E. B. V.; SIQUEIRA, L. P.; PORTELA, R. C. Q. 2021. "The COVID-19 Pandemic as an Opportunity to Weaken Environmental Protection in Brazil." *Biological Conservation* 255 (March). Elsevier BV: 108994. doi:10.1016/j.biocon.2021.108994.

SHAW, V. 2020. "China Finalizes 2020 Solar Subsidy Policy." *PV Magazine International*. April 9. <https://www.pv-magazine.com/2020/04/09/china-finalizes-2020-solar-subsidy-policy/>.

Virginia's Legislative Information System. 2020. "HB 1526 Electric Utility Regulation; Environmental Goals." *Virginia Clean Economy Act*. March. <https://lis.virginia.gov/cgi-bin/legp604.exe?201+sum+HB1526>.

WOOD MACKENZIE. 2020a. "Global Solar PV Market Outlook Update Q1 2020." <https://www.woodmac.com/our-expertise/focus/Power--Renewables/global-solar-pv-market-outlook-update/thank-you/>.

\_\_\_\_\_. 2020b. "Global Wind Power Market Outlook and Coronavirus Update: Q1

WORLD HEALTH ORGANIZATION. 2021a. "Situation by Country, Territory & Area - WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard." Accessed February 8. <https://covid19.who.int/table?tableChartType=heat>.

\_\_\_\_\_. 2021b. "WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard." Accessed February 2. <https://covid19.who.int/>.

YI, X.; BAI, C.; LYU, S.; DAI, L. 2021. "The Impacts of the COVID-19 Pandemic on China's Green Bond Market." Finance Research Letters. Elsevier Ltd. doi:10.1016/j.frl.2021.101948.



## Informações para Autores

Propostas de publicações em consonância com o disposto na missão da Revista Brasileira de Energia (RBE) poderão ser enviadas ao Comitê Editorial para análise, por meio de link específico existente no site da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético ([www.sbpe.org.br](http://www.sbpe.org.br)).

A formatação final para publicação ficará por conta do departamento de diagramação da RBE; desta forma, os artigos deverão ser enviados em formatação simples, conforme o disposto a seguir:

- Os trabalhos devem ser editados e enviados em arquivo Word.
- Papel A4, margens 20 mm, fonte Times New Roman tamanho 12, espaçamento simples.
- Figuras com resolução mínima de 300 dpi.
- Para gráficos, usar mesmo padrão de cores e estilo.
- Equações em formato editável; não devem ser enviadas como figuras.
- O nome do autor NÃO deve ser abreviado, e as respectivas informações de instituição, telefone e e-mail devem ser apresentadas SO-MENTE no sistema e NÃO devem constar no arquivo Word.
- Todos os itens devem ser numerados sequencialmente, exceto Resumo e Abstract. Não usar numeração automática do processador de texto. Serão aceitos no máximo 3 subníveis de numeração, a partir dos quais poderão ser usadas letras como único subnível adicional.
- Títulos de figuras e tabelas, abaixo e acima das mesmas, respectivamente, sem descrição de fonte, a qual deverá ser feita ao longo do texto, muito menos a existência do termo “autoria própria”.
- Referências a trabalhos deverão ser citadas no texto com nome do autor (ou autores) e ano de publicação, entre parêntesis [Ex.: (Autor 1, 1928); (Autor 1 e Autor 2, 1928)]. Na existência de mais de dois autores, escreve-se o nome do primeiro autor seguido da expressão et al. [Ex.: (Autor 1 et al, 1928)].

### Referências Bibliográficas:

- Somente deverão ser citados autores ou trabalhos que estejam incluídos na lista de referências bibliográficas, assim como todos os trabalhos listados nas referências bibliográficas deverão ter sido citados no texto.
- As obras devem ser elencadas em ordem alfabética, não numeradas, seguindo o padrão ABNT.
- NÃO ordenar as obras de acordo com a citação no texto.