

LORA DOS ANJOS RODRIGUES

**INOVAÇÃO NO SETOR DE BIODIESEL: O PAPEL DA DEMANDA
INDUZIDA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

R696i
2016 Rodrigues, Lora dos Anjos, 1986-
 Inovação no setor de biodiesel : o papel da demanda
 induzida / Lora dos Anjos Rodrigues. – Viçosa, MG, 2016.
 x, 70f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndice.

Orientador: José Gustavo Féres.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.58-64.

1. Demanda (Economia). 2. Combustíveis - Aspectos
econômicos. 3. Petróleo - Preço. 4. Biodiesel. 5. Políticas
públicas. 6. Inovação tecnológica. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Economia Rural. Programa de
Pós-graduação em Economia Aplicada. II. Título.

CDD 22. ed. 338.2

LORA DOS ANJOS RODRIGUES

**INOVAÇÃO NO SETOR DE BIODIESEL: O PAPEL DA DEMANDA
INDUZIDA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 08 de setembro de 2016.

Alexandre Bragança Coelho

Evaldo Henrique da Silva

Elaine Aparecida Fernandes

Gesmar Rosa dos Santos

José Gustavo Féres
(Orientador)

À sociedade brasileira, a qual acomete os impostos que financiam os estudos e pesquisas neste país. Sociedade que viabilizou a formação da primeira Magister e Doctor Scientiae em gerações de duas famílias.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste doutorado representa muito mais que uma conquista pessoal de mérito próprio, representa um avanço social suportado por uma família especial e uma sociedade trabalhadora. Representa muito mais que uma formação acadêmica, mas a formação cultural e crítica de uma cidadã brasileira. Quero registrar minha gratidão a algumas pessoas que, mais diretamente, contribuíram para meu avanço nesta caminhada.

Aos meus pais, Maria Luiza e Walter, agradeço simplesmente por TUDO. Escolher alguns atributos para mencionar não expressaria a dimensão do que representam em minha vida e do amor que sinto por eles.

À minha irmã, Lorn, minha outra metade de mim, agradeço por ser uma pessoa tão boa e uma companheira incondicional.

Agradeço ao meu orientador, o professor José Gustavo Féres, que acompanhou e discutiu fase por fase do desenvolvimento da pesquisa, contribuindo de forma essencial para a sua conclusão. Além disso, me acompanhou desde o mestrado, sendo fundamental para meu processo de formação acadêmica. Ao coordenador do programa, o professor Marcelo José Braga, agradeço por sua compreensão, que permitiu que esta tese fosse concluída no tempo que demandou para ser. Aos professores membros da banca de defesa, agradeço pelas contribuições relevantes e pela prontidão em participar deste processo. Em especial, à professora Elaine Aparecida Fernandes por aceitar debater a tese no seminário, sendo essencial no processo de defesa.

Aos meus colegas de departamento e alguns amigos, agradeço pelas discussões que foram muito proveitosas para o desenvolvimento da tese, rendendo *insights* ou esclarecendo dúvidas. Em especial, agradeço ao Samuel, Marcelão, Márcio, Maria Alice, Bladmir e Niágara. Samuel sabe...ele é o “meu” *nerd* do computador!

Aos meus colegas da turma do doutorado, Priscila, Felipe, Douglas, Márcio, Marcelão, Lindomar, John Leno e Paloma, agradeço pela colaboração durante o curso de cada disciplina.

Aos funcionários do departamento, Margarida, Romildo, Helena, Otto, Myrna, Cassiana e Brilhante, agradeço pela disposição a ajudar. Nos momentos de tensão, foram um oásis no departamento! Especialmente à Margarida, agradeço por não nos

desamparar com a saída da eterna Carminha. À UFV, agradeço por promover atividades de extensão em prol da cultura e bem-estar dos alunos.

Ao Estado brasileiro, agradeço pelo financiamento da bolsa de estudos por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), através do grupo de pesquisa REDE Clima, e por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Como a tese e Viçosa “acontecem” também além das quatro pilastras, agradeço a alguns amigos que estiveram do meu lado. À Clara, por fazer de nossa casa um lar, onde compartilhamos uma convivência familiar. E à Célia, por ser uma amiga que cuidava tão bem da nossa casinha. À Nara, por me inspirar a vivenciar experiências fora do “quadrado”, além da vida acadêmica de Viçosa. Ao Felipão e Carlos, por estarem sempre dispostos a experimentar uma festa diferente pra gente relaxar um pouquinho! Também agradeço ao Querido Felipão por me receber tão bem em sua casa em minhas saudosas visitas a Viçosa no último ano do doutorado. Ao Mateus, por estar sempre pronto a ajudar-me em momentos essenciais. Ao meu amigo Paulo, por mostrar o quanto me conhece, justamente quando uma palavra sua faz toda a diferença. E por estar ao meu lado na fase final de nossas teses, compartilhando conhecimento e todas as expectativas que são próprias deste momento. Com ele, eu sentia que eu não estava sozinha neste barco!

Às minhas amigas, Fátima, Marina e Cássia, agradeço por cuidarem de mim promovendo minha saúde física, mental e espiritual. Foram fundamentais em minha busca paralela pela harmonização de todas as dimensões do meu corpo e pela evolução pessoal.

Ao meu namorado, Manuel, agradeço por compartilharmos tão agradavelmente companhia, confiança, respeito e admiração mútua em uma fase especial da minha e da sua vida. Agradeço por compreender e acolher tão paradoxais emoções que afloram da geração ao “parto” de uma tese!

Graças a Deus, Que segura minha mão, ilumina meus passos e me mantém de pé, esta conquista foi possível.

Enfim, sou grata por estar hoje aqui, exatamente onde eu queria estar!

*Ainda que a minha mente e o meu corpo enfraqueçam, Deus é a minha força, Ele é tudo
o que eu preciso. (Salmo 73:23)*
EU ENTREGO, CONFIO, ACEITO E AGRADEÇO (Hermógenes)

BIOGRAFIA

LORA DOS ANJOS RODRIGUES, filha de Maria Luiza dos Anjos Rodrigues e Walter Isaac Rodrigues, nasceu em 1986 na cidade de São Paulo. Em 1998, mudou-se para Minas Gerais.

Em abril de 2005, iniciou o curso de Ciências Econômicas na Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), graduando-se em dezembro de 2009.

Em março de 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada no Departamento de Economia Rural na Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo os requisitos para a obtenção do título de *Magister Scientiae* em fevereiro de 2012.

Em março de 2012, iniciou o curso de Doutorado no mesmo programa, defendendo tese em setembro de 2016.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|--------|
| RESUMO | ix |
| ABSTRACT | x |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Considerações Iniciais | 1 |
| 1.2. O Problema e sua Importância | 4 |
| 1.3. Hipótese | 9 |
| 1.4. Objetivos | 9 |
| 1.4.1. Objetivo Geral | 9 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos | 10 |
| 1.5. Estrutura da Tese | 10 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 2.1. Determinantes <i>Demand-pull</i> da Inovação | 11 |
| 2.1.1. Inovação Induzida e Biodiesel | 17 |
| 2.2. Determinantes <i>Technology-push</i> da Inovação | 18 |
| 2.3. Inovação no Biodiesel e Políticas Públicas | 21 |
| 3. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS | 23 |
| 4. METODOLOGIA | 27 |
| 4.1. Método Econométrico | 27 |
| 4.1.1. Estimador de Quase-Máxima Verossimilhança (EQMV) para Modelo de Poisson em <i>Pooled Painel</i> | 27 |
| 4.1.2. Estimador de Máxima Verossimilhança (EMV) para Modelo Binomial Negativo (BN) em <i>Pooled Painel</i> | 30 |

| | |
|--|----|
| 4.1.3. Modelo de Poisson e Binomial Negativo em Painel com Variável <i>Dummy</i> de Efeito Fixo..... | 32 |
| 4.1.4. Modelo de Poisson em Painel de Efeito Fixo..... | 33 |
| 4.2. Base de Dados | 35 |
| 4.2.1. Patentes..... | 35 |
| 4.2.2. Variáveis Explicativas..... | 38 |
| 4.3. Modelo Empírico..... | 42 |
| 5. RESULTADOS..... | 44 |
| 5.1. Patentes..... | 44 |
| 5.2. Resultado Empírico | 51 |
| 6. CONCLUSÕES | 56 |
| REFERÊNCIAS..... | 58 |
| ANEXO..... | 65 |
| APÊNDICE..... | 68 |

RESUMO

RODRIGUES, Lora dos Anjos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2016. **Inovação no setor de biodiesel: o papel da demanda induzida**. Orientador: José Gustavo Féres.

O biodiesel é um dos principais biocombustíveis líquidos empregados pelos países que desejam aumentar a participação relativa das fontes renováveis em sua matriz energética pela substituição dos combustíveis fósseis. Em resposta à crescente demanda internacional pela mitigação de problemas ligados ao aquecimento global e às tradicionais preocupações nacionais com a segurança energética, observa-se, nos anos 2000, a introdução de políticas de suporte ao setor na União Europeia, Estados Unidos e Brasil, principais produtores. Em seguida, observa-se crescimento na taxa de publicação de pedidos de patentes relacionadas ao biodiesel. Nesse contexto, em que o estabelecimento do mercado é incipiente, a inovação é essencial no desenvolvimento dessa tecnologia para reduzir seu custo de produção, viabilizando-a economicamente. Igualmente, o conhecimento de seus determinantes pode fomentar a elaboração de políticas públicas efetivas para seu desenvolvimento estratégico. Assim, tem-se o objetivo de verificar se os fatores de mercado, especialmente a tendência de crescimento do preço do petróleo, e as políticas públicas determinam a inovação no biodiesel nos principais países produtores da União Europeia, nos Estados Unidos e no Brasil no período de 2000 a 2011. Com o suporte da teoria da inovação induzida e com a aplicação de métodos econométricos para dados do tipo contagem, verificou-se que a inovação, mensurada por patentes, responde positivamente aos fatores de mercado e às políticas públicas. Especialmente, o preço do petróleo e a existência simultânea de política regulatória e fiscal são fatores *demand-pull* que estimulam a inovação no biodiesel por aumentar sua demanda e expectativa de retorno. Já o investimento governamental em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) constitui um fator *technology-push* que afeta a inovação pelo lado da oferta na medida em que aumenta a capacidade tecnológica da qual o setor de biodiesel se beneficia. Conclui-se que, em contextos de baixa nos preços dos combustíveis fósseis, onde os biocombustíveis tornam-se economicamente menos competitivos, as políticas públicas podem ser importantes para o contínuo desenvolvimento tecnológico estratégico do setor de biodiesel e atendimento do compromisso de aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética.

ABSTRACT

RODRIGUES, Lora dos Anjos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2016. **Innovation in the biodiesel sector: the role of induced demand.** Adviser: José Gustavo Féres.

The biodiesel is one of the main liquid biofuels used by countries that want to increase the relative share of renewable sources in their energy matrix to replace fossil fuels. In the 2000s, support policies for the biodiesel sector were introduced in the main producers – European Union, United States and Brazil – in response to the growing international demand for mitigation of global warming problems and for traditional national concerns about energy security. Next, it observed an increase at publication rate of patent applications related to biodiesel. In this context, where the establishment of the market is incipient, the innovation is essential for the development of this technology to reduce its cost of production, becoming it economically feasible. Equally, the knowledge of the biodiesel innovation determinants can to subside the elaboration of effective public policies for strategic development of the sector. Thus, the aim of this thesis is to verify if market factors – especially the increasing trend of oil price – and public policies determine the biodiesel innovation in the main producing countries of the European Union, United States and Brazil from 2000 to 2011. With the support of the induced innovation theory and the application of proper econometric methods for count data, it has verified that innovation (measured by patents) responds positively to market factors and public policies. In particular, the oil price and the simultaneous existence of regulatory and fiscal policy are demand-pull factors that stimulate biodiesel innovation by increasing his demand and his return expectative. The governmental investment at Research and Development (R & D) is a technology-push factor (supply-side factor) that increases the technological capacity that can to benefit the biodiesel sector. It concludes that the public policies can be important factors for the continuous technological development of the biodiesel sector and for the maintenance of the commitment to increase the share of renewable sources in the energy matrix when fossil fuels prices decrease making the biofuels economically less competitive.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Os biocombustíveis têm experimentado crescimento no mercado mundial quadruplicando seu volume produzido entre 2002 e 2012 (*British Petroleum – BP*, 2013) e representando 12,5% no consumo final de energia em 2011 (*Organisation for Economic Co-operation and Development/International Energy Agency – OECD/IEA*, 2013). Esse crescimento pode ser explicado em parte como uma resposta às crescentes preocupações com os impactos negativos das mudanças climáticas e degradação ambiental sobre a atividade econômica, saúde humana, dentre outros. Ao passo que os combustíveis fósseis são apontados como um dos responsáveis por tais problemas, as nações têm estimulado a produção e consumo de biocombustíveis como fonte alternativa por meio de leis e programas específicos que, muitas vezes, asseguram subsídios e/ou abatimentos fiscais e outros mecanismos de suporte. Além dos problemas ligados ao aquecimento global, as ações dos governos nacionais têm sido motivadas por tradicionais preocupações relacionadas à segurança energética e à tendência de alta no preço do petróleo.

De 1975 a 2012, o preço do petróleo passou de US\$10,70/barril para US\$109,08/barril (BP, 2013), crescimento nominal de 919%, enquanto a inflação norte-americana acumulada no período foi de 175,79% (*Energy Information Administration – EIA*, 2013). Portanto, observa-se um aumento real nos custos dos diversos setores tornando os biocombustíveis uma alternativa economicamente viável. Essa tendência evidencia, ainda, a necessidade de se investir na diversificação da matriz energética, pois a dependência do petróleo pode implicar desequilíbrio das contas externas- com déficit no balanço de pagamentos dos países importadores líquidos, e vulnerabilidade à oferta externa- na medida em que um contexto de restrição gera custos econômicos e sociais relacionados à inflação. Dessa forma, a produção de biocombustíveis é uma importante alternativa para reduzir a dependência de fontes não renováveis contribuindo com o objetivo de garantir segurança energética, a qual é fundamental para o crescimento econômico sustentado das nações.

Ademais, a expansão dos biocombustíveis pode ter efeitos positivos sobre indicadores socioeconômicos de regiões rurais. Quando sua produção é baseada em

culturas agrícolas intensivas em mão-de-obra, estimula a geração de renda e emprego. Logo, incentivos à produção de biocombustíveis podem colaborar com as políticas governamentais que objetivam motivar a fixação do homem na zona rural pelo aumento da renda agrícola.

Incentivos à produção e consumo de biocombustíveis também podem contribuir para a mitigação do processo de mudanças climáticas e problemas ambientais ligados ao aquecimento global. Com base na *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2008), a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) no ciclo de vida dos biocombustíveis de primeira-geração¹ pode variar de 20% a 60% relativamente ao combustível fóssil, conforme matéria-prima, local e tecnologias de produção².

Os transportes são responsáveis por 62,3% do consumo mundial de petróleo (OECD/IEA, 2013) e representam o segundo maior setor emissor de GEE contabilizando 22% do total de emissões de gás carbônico (CO₂) proveniente da queima de combustíveis fósseis em 2010 (OECD/IEA, 2012)³. Assim, a introdução do biodiesel e do etanol como alternativas aos combustíveis fósseis torna o setor estratégico para mitigação do aquecimento global.

O diesel é o principal derivado do petróleo consumido no setor de transportes representando, por exemplo, 48,1% da energia consumida pelo setor no Brasil em 2012 (Balanço Energético Nacional – BEN, 2013) e cerca de 20 vezes o consumo da gasolina na União Europeia em 2010 (*European Union* – EU, 2012). Enquanto o biodiesel é consumido predominantemente neste setor⁴, constitui-se um substituto efetivo para a redução de GEE. Sua importância como potencial redutor torna-se evidente quando se considera que os veículos movidos a diesel emitem a maior quantidade de CO₂ por litro dentre os motorizados (CARVALHO, 2011). O diesel possui, ainda, uma capacidade de

¹ Os biocombustíveis de *primeira-geração* são aqueles produzidos a partir de culturas que, em geral, podem ser consumidas como alimento ou entrar em sua preparação. São classificados como de *segunda-geração*, se produzidos a partir da biomassa celulósica ou matéria-prima que não compete pelo uso de terras de alta qualidade com as culturas destinadas à alimentação; de *terceira-geração*, quando produzidos a partir de matéria-prima que não disputa terras com as culturas destinadas à alimentação (basicamente algas estão nesta categoria); e *avançados*, os combustíveis renováveis (com exceção do etanol derivado do milho) que emitem, em seu ciclo de vida, no máximo 50% dos gases de efeito estufa (GEE) que seriam emitidos pelo uso de diesel ou gasolina (HLPE, 2013).

² Embora os biocombustíveis emitam menos GEE em seu ciclo de vida, quando se considera os efeitos diretos e indiretos do aumento em sua produção sobre o uso da terra, as emissões podem ser maiores para algumas matérias-primas e sistemas de produção (FAO, 2008).

³ O setor de geração de eletricidade e calor é o principal emissor (OECD/IEA, 2012).

⁴ No setor de transportes, o biodiesel é consumido em proporção de volume do diesel convencional. Conforme o teor da mistura, classifica-se o biodiesel, por exemplo, como B2, onde a mistura contém 2% de biodiesel puro (B100); B5, onde a mistura contém 5% e, assim, segue. Para teor suficientemente baixo, até 20%, possui adequabilidade técnica ao motor diesel convencional (AETS, 2013), o que viabiliza a difusão de seu consumo.

formar aerossóis orgânicos secundários (AOS) 6,7 vezes superior à gasolina (GENTNER et. al., 2012).

O biodiesel e o etanol são os principais biocombustíveis líquidos produzidos sendo que os maiores produtores de biocombustíveis são os Estados Unidos, Brasil e União Europeia, os quais contabilizam, respectivamente, 45,4%, 22,5% e 16,4% do total em 2012 (BP, 2013). Os dois primeiros países são os maiores produtores de etanol e representam em torno de 90% da produção mundial. O volume produzido é significativamente superior ao biodiesel, 14 vezes maior no caso dos Estados Unidos em 2011 (EIA, 2012b) e 8 vezes maior no caso do Brasil em 2012 (BEN, 2013).

Embora a produção de biodiesel seja relativamente inferior à de etanol nos Estados Unidos, há um crescimento da mesma e o país é o maior produtor, seguido pela Argentina e Brasil (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2013). Enquanto em 2011 o volume produzido de etanol era 8 vezes superior ao volume produzido em 2001, a produção de biodiesel aumentou 100 vezes nesse período (EIA, 2012a). A principal matéria-prima⁵ empregada é o óleo de soja, que teve 14% do seu volume destinado à produção de biodiesel (EIA, 2012b). No Brasil, a soja também é a principal matéria-prima representando 75,24% da produção a partir de oleaginosas em 2012⁶. O país alcançou importante posição na produção mundial de biodiesel em 2012 com seu consumo experimentando crescimento de 6,9% em relação a 2011, fato decorrente do crescimento na demanda de diesel (EPE, 2013).

De forma oposta, o volume de biodiesel na União Europeia foi 4 vezes superior à produção de etanol em 2010 (*European Commission – EC*, 2012). Ao passo que iniciou o processo de industrialização do biodiesel, constituiu-se no principal mercado contabilizando 55% da produção mundial. Alemanha, França, Espanha e Itália representam cerca de 63,23% da produção do grupo, sendo só a Alemanha responsável por 32,53% em 2011 (*European Biodiesel Board – EBB*, 2013). A principal matéria-prima utilizada é o óleo de canola, que representou 69,40% do total de óleos utilizados na produção de biodiesel do bloco em 2012/13 (*United States Department of Agriculture – USDA*, 2013). Na Alemanha, esse percentual foi de 47,31%, como pode

⁵ A produção de biodiesel pode ser realizada a partir de gordura animal, óleos ou gorduras residuais ou óleos vegetais.

⁶ Embora predominante, a soja não constitui a matéria-prima com maior rendimento (litros/hectare). Segundo o estudo de Johnston et. al. (2009) que leva em consideração o padrão geográfico de cada matéria-prima ao trabalhar com dados de 238 países e 20 culturas, enquanto a soja rende 399 l/ha, a colza pode gerar 551 l/ha (de óleo de canola) e a palma ou dendê até 3750 l/ha. O domínio da soja se deve, em parte, ao aproveitamento da infraestrutura e resíduos da atividade principal pré-existente de produção de farelo para alimentação animal.

ser verificado a partir dos dados publicados pelo *Federal Office for Agriculture and Food* (2014).

Do total de biocombustíveis consumido nesse mercado, o biodiesel representa 75% (EC, 2012). Tal representatividade está ligada ao fato de que no setor de transportes metade da frota de veículos leves europeus possui motor movido a diesel e, em alguns países do grupo, esse tipo de carro já representa bem mais da metade das novas vendas (HLPE, 2013). Portanto, o biodiesel tem sua produção e consumo crescentes e se configura como o segundo principal biocombustível representando 21,3% do total produzido no mundo em 2011 (HLPE, 2013) e 31% do total ofertado em 2012 (BP, 2013)⁷. Sua produção em escala comercial teve início na União Europeia no começo dos anos de 1990e, em 2001, a produção comercial do biodiesel derivado do óleo de soja foi pioneiramente iniciada nos Estados Unidos. Somente em 2005, logo após a implantação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que o Brasil introduziu o biodiesel em sua matriz energética.

1.2. O Problema e sua Importância

Embora seja recente a produção industrial de biodiesel, as pesquisas com óleos vegetais para produção de biocombustível remontam o início do século XX com o registro da primeira patente sobre o processo de obtenção do biodiesel em 1937 na Bélgica. As pesquisas com os biocombustíveis intensificaram a partir da primeira crise do petróleo em 1973, visto que a elevação dos preços decorrente da restrição na oferta mundial por parte dos principais produtores deixou as economias em situação desfavorável na balança comercial (agravando problemas no balanço de pagamentos e aumentando a dívida externa) e revelou a forte dependência do petróleo e a necessidade de investimentos em fontes alternativas.

De 1973 a 1974, os preços do petróleo registraram alta de 210%, já entre 1979 e 1980 com a segunda crise do petróleo, o aumento foi de 135% (ROUBINI e SETSER, 2004). Mais recente, entre 2003 e 2008, os preços nominais experimentaram alta de mais de 500% em decorrência do crescimento do consumo mundial, queda na capacidade ociosa e fraca expansão da produção e especulação financeira (EPE, 2008). Em consonância com a tendência de alta do preço, o petróleo vem perdendo participação na matriz energética mundial enquanto as nações têm respondido com a

⁷ Relativamente ao etanol, principal biocombustível, o consumo de biodiesel ocorre em misturas com menor teor e seu consumo da forma pura é menor.

adoção de políticas e programas de incentivos a fontes alternativas. De 1973 a 2011, a participação do petróleo no total de energia primária ofertada passou de 46% para 31,5% no tempo em que as fontes renováveis que representavam 13,4% aumentaram sua participação para 18,4% (OECD/IEA, 2013).

A partir de 1992, os incentivos à utilização dos biocombustíveis ganharam novo fôlego com o estabelecimento da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) por parte da comunidade internacional, haja vista que seu principal objetivo fundamenta-se na estabilização das emissões de GEE para mitigação dos problemas ambientais e climáticos ligados ao aquecimento global, conforme indicado em seu Artigo 2. Já em 1997, durante a Terceira Conferência das Partes⁸ (COP 3), foi adotado o Protocolo de Quioto que estabelece metas quantitativas de redução de GEE para os países signatários do Anexo I da CQNUMC (países industrializados) no período de 2008 – 2012.

Frente aos episódios de instabilidade na oferta de petróleo decorrentes de interesses políticos dos principais países ofertantes, ao contínuo aumento em seu preço e à demanda internacional pela mitigação do processo de mudanças climáticas e aquecimento global, a produção e o consumo de fontes renováveis tornam-se estratégicas para as nações, as quais incentivam o aumento da participação relativa dessas fontes em suas matrizes de energia por meio de leis e subsídios.

Em 2003, a União Europeia estabeleceu metas voluntárias para o uso de biocombustível nos transportes através da *Directive to promote the Use of Biofuels or other Renewable Fuels for Transport (2003 Biofuels Directive)*. Todavia, para Mondou e Skogstad (2012), os Estados membros não corresponderam como esperado, dado que, em 2008, a participação dos biocombustíveis no total de combustíveis no setor de transportes ainda era menor que 5,75% (em 2003, já representavam 5%). Dessa maneira, foi aprovada em 2009 a *Directive on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources (2009 Renewable Energy Directive – RED)* a qual, por sua vez, instituiu metas obrigatórias para os biocombustíveis e outras energias renováveis.

A RED estabeleceu que 20% do total de energia consumida nos 27 países deveria ter origem em fontes renováveis até 2020. Para o transporte rodoviário, as fontes renováveis, predominantemente os biocombustíveis, deveriam representar 10% da energia consumida no setor. O uso das fontes renováveis que contabilizariam para o cumprimento da meta e poderia beneficiar-se de subsídios deve atender a alguns padrões de sustentabilidade. Quais sejam, reduzir, no mínimo, 35% de GEE emitido na

⁸ Países signatários da CQNUMC.

queima do biocombustível e garantir que a matéria-prima não tenha origem em terras de reconhecido alto valor para a biodiversidade ou com alto estoque de carbono (*Institute for European Environmental Policy – IEEP, 2008*).

Diferentemente da União Europeia, as metas estabelecidas para os biocombustíveis nos Estados Unidos são relativas à produção e não ao consumo. Em 2005, o *Energy Policy Act* estabeleceu a mistura compulsória do etanol à gasolina. Desse modo, no *Renewable Fuels Standard* (RFS I), determinou-se que as refinarias de etanol deveriam aumentar sua produção anual de 4 para 7,5 bilhões de galões até 2012. Em 2007, o *Energy Independence and Security Act* (EISA) definiu o novo *Renewable Fuels Standard* (RFS II) ampliando as metas para os demais biocombustíveis, incluindo o biodiesel. Portanto, foi estabelecido que a produção anual de biocombustíveis teria que alcançar 36 bilhões de galões até 2022, dos quais 21 bilhões deveriam ser de biocombustíveis avançados. O RFS II introduz critérios de sustentabilidade que necessitam de ser observados: para os biocombustíveis convencionais (etanol e biodiesel), as emissões de GEE no seu ciclo de vida precisam ser 20% menor que dos seus substitutos derivados do petróleo e a produção da matéria-prima há de preservar florestas e espécies nativas da região.

No Brasil, o consumo de biocombustíveis é incentivado desde a primeira crise do petróleo quando o governo instituiu o Proálcool em 1975. O programa tinha como objetivo principal estimular a produção de álcool como combustível substituto à gasolina. Atualmente, o consumo de etanol ocorre de forma predominante em misturas entre 20% e 25% por volume de gasolina. Apenas em 2005, o biodiesel foi introduzido na matriz energética do país com a instituição do PNPB, programa que objetiva a “implementação de forma sustentável, tanto técnica, como econômica, da produção e uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda” (Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA, 2013⁹). O PNPB estabeleceu o aumento do seu consumo de forma gradual por meio da instituição de percentuais mínimos de mistura obrigatória por volume de diesel de petróleo ao longo dos anos. Por conseguinte, o B2 (mistura de 2% de biodiesel por volume de diesel) foi autorizado em 2005 e tornou-se obrigatório a partir de 2008. O B5, que deveria ter sido introduzido a partir de 2013, teve sua implementação antecipada e passou a vigorar a partir de 2010.

Em conformidade com o estabelecimento de marcos regulatórios sobre biocombustíveis, a produção média de biodiesel apresenta tendência crescente nos

⁹ O MDA participa da gestão do programa por meio da Secretaria da Agricultura Familiar.

principais mercados produtores. Logo após o indicativo das metas voluntárias ocorrido entre 2004 e 2005 na União Europeia, a produção média de biodiesel atingiu 2,367 mil toneladas (ton.) e, quando as metas tornaram-se obrigatórias entre 2010 e 2011, a produção média passou para 9,296 mil ton.. Entre 2002 e 2003, a produção era de 592 mil ton. ao ano (Eurostat, 2013). Entre 2004 e 2007, a produção média de biodiesel nos Estados Unidos era de 214,75 milhões de galões e, com a instituição do RFS II, a produção anual atingiu 626 milhões de galões entre 2008 e 2011 (EIA, 2013). No Brasil, quando do estabelecimento do PNPB, a produção média de biodiesel era de 1.002.494 barris equivalentes de petróleo (bep) entre 2005 e 2007. Já entre 2008 e 2010, período em que o B2 já era obrigatório, a produção alcançou a média de 10.915.857 bep. (Agência Nacional do Petróleo – ANP, 2013). A produção global de biocombustíveis cresceu mais de 5 vezes entre 2000 e 2011, evoluindo a uma taxa anual em torno de 7,63% (*Agency for Healthcare Technology Assessment – AETS*, 2013).

No contexto de estabelecimento incipiente do mercado de biodiesel, a inovação é essencial no desenvolvimento dessa tecnologia para reduzir seu custo de produção, viabilizando-a economicamente. Na medida em que o mercado apresenta capacidade limitada de absorção, para dado nível de conhecimento científico (potencial inovador), a introdução da inovação ocorre, de fato, na presença de expectativa de lucratividade, que por sua vez depende de um contexto de expansão da demanda (SCHMOOKLER, 1966). Essa abordagem, que dá ênfase aos fatores de mercado que afetam a inovação por alterar sua demanda, está contida na literatura da teoria da inovação induzida, pioneiramente introduzida por Hicks (1932). Este autor deu maior ênfase ao papel da mudança no preço relativo dos fatores que aumenta custos de produção e, conseqüentemente, aumenta a demanda por novas tecnologias poupadoras do fator relativamente mais caro.

Nesse caso, pode-se dizer que a tendência de aumento relativo no preço dos combustíveis derivados do petróleo é acompanhada pelo aumento na demanda de combustíveis renováveis (tecnologia substituta) que induz inovação para viabilizar seu uso como fator alternativo, reduzindo custos. LogoAssim, a inovação no setor de biodiesel pode ser determinada pelo aumento da demanda induzida pelo aumento no preço do diesel convencional (bem substituto).

Por outro lado, o estabelecimento de marco regulatório observado nos anos 2000 como uma política governamental de suporte ao desenvolvimento do mercado de biodiesel pode, também, constituir importante fator determinante da inovação tecnológica no setor, pois assegura, em certo grau, demanda para o produto. Já a política

fiscal de isenção tributária e/ou concessão de subsídios estimula a inovação na medida em que promove a mudança no preço relativo pela redução de custos no setor. Do lado da oferta, a política nacional de investimento em P&D também determina a inovação no setor por aumentar a capacidade tecnológica da qual o setor pode se beneficiar.

A atividade inovadora nas economias tem sido mensurada pela emissão de patentes ou publicação de pedido de patente. Relacionados ao biodiesel, os pedidos de patentes apresentaram tendência semelhante nos principais países produtores, sendo incipiente até a década de 1990 e assumindo inflexão positiva a partir do estabelecimento de metas para o consumo e produção de biocombustíveis nos anos 2000. Especificamente para o período entre 1996 e 2006, verifica-se que foram publicados 561 pedidos de patente na União Europeia, 550 nos Estados Unidos e 112 no Brasil (Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, 2008). Na União Europeia, somente a partir de 2004, passou-se a registrar um número de pedidos superior a 40 por ano atingindo 108 pedidos em 2006, tendência que pode indicar uma intensificação da atividade inovadora no setor a partir da *2003 Biofuels Directive*. Nos Estados Unidos e Brasil parece ocorrer a mesma relação entre a inovação no setor e o estabelecimento de seus respectivos marcos regulatórios em 2005 uma vez que, no primeiro, o número de pedidos de patentes relacionadas ao biodiesel torna-se superior a 100 por ano, enquanto no segundo, o número de pedidos ultrapassa 25 ao ano.

Nesse contexto, onde a inovação é fundamental para redução do custo de abatimento das emissões de GEE pelo desenvolvimento de fontes renováveis, seriam as características de mercado, especialmente a tendência de alta no preço dos combustíveis fósseis, e as políticas públicas regulatória e fiscal estabelecidas nos anos 2000, determinantes da inovação no setor de biodiesel dos principais países produtores e inovadores da União Europeia, Estados Unidos e Brasil?

Dado que o setor de energia constitui força motriz do crescimento econômico de uma nação, é fundamental o entendimento dos determinantes da inovação no biodiesel. A literatura econômica tem se concentrado na avaliação dos determinantes da inovação em diversos tipos de energias. A partir de dados de pedidos de patentes depositados por 25 países de renda elevada no *European Patent Office* (EPO) no período de 1978 a 2003, Johnstone, Hasic e Popp (2010) verificam que as políticas em energias renováveis são o principal condutor da inovação em fontes renováveis empregadas na geração de eletricidade.

Já Lanzi, Hasic e Johnstone (2012), com dados de patentes de 11 países membros da OCDE no período de 1978 a 2008, verificam que o aumento do preço do

combustível fóssil eleva a inovação em energias renováveis e a inovação em combustíveis fósseis que tenha objetivo de reduzir emissões. Por fim, Kruse e Wetzel (2015) levantam dados de pedidos de patente de 11 tipos de tecnologias (relacionadas à energia) emitidas no EPO por 26 países da OCDE no período de 1983 a 2009. Seus resultados evidenciam que a mudança no preço da energia tem impacto positivo acerca da inovação relacionada à energia renovável e à eficiência energética em algumas destas tecnologias.

Para o setor de biocombustíveis especificamente, existem trabalhos que avaliam a inovação no etanol. Em geral, os estudos de Jang e Du (2013) e Karmarkar-Deshmukh e Pray (2009) para os Estados Unidos verificam que tanto os fatores de mercado quanto as políticas governamentais de P&D têm impacto sobre o nível da atividade inovadora no setor. Para o Brasil, o estudo de Freitas e Kaneko (2012) não explora o papel da política pública em relação à inovação.

Nesta tese, busca-se preencher a lacuna na literatura internacional e nacional no que diz respeito ao estudo dos determinantes da inovação no biodiesel. Esta análise se faz pertinente dado que a mesma possibilita o entendimento sobre o modo como a inovação no setor responde aos incentivos econômicos e de política pública, podendo contribuir com a elaboração das políticas ambiental e de segurança energética.

1.3. Hipótese

A inovação no setor de biodiesel responde positivamente aos incentivos econômicos e às políticas públicas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

Investigar se os fatores de mercado e as políticas públicas afetam a inovação no setor de biodiesel dos principais países produtores da União Europeia, Estados Unidos e Brasil no período de 2000 a 2011.

1.4.2. Objetivos Específicos

a) Verificar se a inovação no biodiesel responde positivamente à tendência crescente do preço do petróleo;

b) Analisar se a trajetória de inovação em biodiesel está relacionada à existência, simultânea, de metas para produção ou consumo de biocombustíveis e incentivos fiscais, simultaneamente;

c) Averiguar se a proporção do gasto do governo em P&D tem influência positiva sobre a inovação no biodiesel.

1.5. Estrutura da Tese

Esta tese tem seu desenvolvimento apresentado em 5 seções, além desta introdução. Na segunda seção, expõe-se a abordagem teórica que dá suporte à formulação da hipótese apresentada. Na terceira, apresentam-se as evidências empíricas. Na quarta seção, são apresentados os dados e metodologia utilizada na execução dos objetivos propostos. Em seguida, os resultados obtidos são apresentados e discutidos. Finalmente, têm-se as considerações finais na sexta seção.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, apresenta-se uma abordagem teórica da inovação sob a perspectiva neoclássica que classifica seus determinantes como *demand-pull* e *technology-push* por induzirem a inovação afetando sua demanda e a sua capacidade tecnológica de ofertar tal desenvolvimento, respectivamente. Os dois grupos de determinantes são analisados separadamente nas próximas subseções¹⁰.

2.1. Determinantes *Demand-pull* da Inovação

Inovação induzida é aquela que concebe a inovação como um processo induzido a partir de mudanças observadas no preço relativo dos fatores de produção. Dentro da teoria neoclássica de crescimento econômico, os estudos compreendidos na literatura da inovação induzida constituem a primeira tentativa de explicar o progresso técnico como um processo endógeno.

Para entender o efeito do progresso¹¹ quanto à apropriação da renda nacional entre os fatores de produção, Hicks (1932) apresenta uma teoria da inovação sob o argumento de que é impossível analisar os efeitos da mudança na oferta de capital e trabalho sobre a distribuição sem analisar os efeitos da inovação, pois a substituição entre eles é, em parte, decorrente da inovação no modo de produção, que permite obter igual quantidade de produto empregando menos fatores de produção. Seu trabalho é o primeiro que apresenta a teoria da inovação induzida, a qual é definida como a inovação resultante da mudança no preço relativo dos fatores, enquanto aquela observada independentemente desse preço como inovação autônoma. Ao voltar atenção especial ao primeiro tipo, o autor afirma que a mudança no preço relativo por forças de mercado (mudança na oferta dos fatores) aumentará a demanda por novos métodos de produção que sejam menos intensivos no fator relativamente mais caro a fim de reduzir custos de produção¹².

¹⁰ Algumas considerações importantes sobre a teoria evolucionária são feitas neste desenvolvimento.

¹¹ Hicks (1932) enumera quatro tipos de “progresso” com o qual a teoria econômica trabalha: 1. Crescimento da população; 2. Aumento da habilidade de trabalhar de uma população constante; 3. Crescimento do capital e 4. Invenção e aperfeiçoamento.

¹² Assume que a inovação autônoma também seria menos intensiva no fator relativamente mais caro, dada a experiência observada e o pressuposto de que seriam aleatoriamente distribuídas. Porém, admite que, em longos períodos de tempo, as descobertas científicas podem produzir inovações com viés específico.

A inovação induzida é subdividida em três tipos conforme o fator que emprega em menor proporção (fator relativamente mais caro) e seu efeito sobre o produto marginal. A inovação classificada como “poupadora de trabalho” aumenta o produto marginal do capital mais que aumenta o produto marginal do trabalho; a inovação “poupadora de capital” tem efeito oposto e a inovação “neutra” aumenta o produto marginal dos fatores na mesma proporção.

O autor observa que na Europa, nos últimos séculos, o mais rápido crescimento da oferta de capital e o inevitável aumento no preço relativo do trabalho têm induzido o predomínio de inovações poupadoras de trabalho e resultam na diminuição da participação relativa dos salários na renda nacional decorrente do maior crescimento do produto marginal do capital. Nesse sentido, propõe que o aumento na oferta de algum fator aumentará sua participação relativa na renda nacional se a elasticidade de substituição¹³ for maior que um. E esta será e permanecerá elevada enquanto houver um processo de inovação ativo.

Na ausência de inovações, o aumento no preço relativo do trabalho resulta, inicialmente, na substituição do consumo de produtos intensivos no fator trabalho por produtos que usam mais capital em sua manufatura e no uso de métodos de produção mais intensivos em capital que, embora conhecidos, não eram amplamente empregados. Posteriormente, com o contínuo crescimento da oferta de capital, a elasticidade de substituição e sua participação relativa na renda diminuem. Desse modo, a economia converge para o estado estacionário em decorrência da queda no produto marginal do capital.

Desde a publicação de Hicks (1932), Syed Ahmad tem defendido a ideia de que a mudança no preço relativo dos fatores pode influenciar a natureza da inovação pelo aumento de sua demanda. Nessa perspectiva, Ahmad (1966) propõe um modelo analítico para o entendimento do fenômeno da inovação (ou invenção¹⁴) induzida nos moldes da abordagem tradicional de estática comparativa¹⁵.

¹³ Elasticidade de substituição mensura o grau com que um fator pode ser substituído por outro. Matematicamente, $\sigma_{ij} = \frac{\partial \ln(x_j/x_i)}{\partial \ln[f_i(x)/f_j(x)]}$, mensura a propensão da firma em alterar a proporção dos

insumos (i, j) dada uma variação percentual na razão do produto marginal destes insumos.

¹⁴ No início do trabalho, o autor esclarece que os termos “inovação” e “invenção” são indistintamente utilizados na literatura que aborda a mudança técnica estimulada pela mudança no preço relativo dos fatores.

¹⁵ Com seu modelo, o autor pretende responder aos questionamentos desenvolvidos em Salter (1960), Fellner (1961;1962) e Kennedy (1964) relacionados à ideia apresentada por Hicks (1932). Simultaneamente, pretende atender sua demanda por um mecanismo de análise econômica tradicional.

Enquanto o processo de substituição de fatores é refletido no movimento entre dois pontos sobre a mesma função de produção, o processo de inovação é representado por qualquer tipo de mudança na função de produção¹⁶. Em vista disso, para um determinado nível específico de produção, a mudança de isoquanta¹⁷ expressa inovação.

A inovação será do tipo neutra quando, para uma dada razão de preço dos fatores, o ponto (que minimiza custos) na nova isoquanta refletir a mesma razão de fatores empregada na antiga isoquanta. Dito de outro modo, quando as isoquantas estão associadas às funções de produção lineares e homogêneas, a inovação é neutra; no mesmo sentido daquela neutralidade definida em Hicks (1932). A inovação será do tipo poupadora de trabalho quando a mudança de isoquanta resultar em menor proporção de trabalho para capital em seu ponto de custo mínimo. A definição de inovação poupadora de capital é análoga¹⁸.

Ahmad (1966) define a Curva de Possibilidade de Inovação (CPI) como a curva envelope que tangencia as alternativas isoquantas (de um dado nível de produto para diferentes funções de produção) em seus pontos de custo mínimo dado o preço relativo dos fatores. Cada CPI refere-se a um nível específico de recursos gastos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) representando uma habilidade de inovação. O ponto em que a isocusto¹⁹ tangencia a CPI determinará a isoquanta e a função de produção da firma até a próxima inovação. A isoquanta determinada dessa forma será mais poupadora de um fator, quanto maior for seu preço relativo.

Na Figura 1, é ilustrado o processo de inovação induzida pelo mecanismo analítico proposto que utiliza as curvas CPI (C) e isoquantas (I).

¹⁶ Tal conceito pressupõe que as firmas operam sobre a Fronteira de Possibilidade de Produção (FTP), curva que representa o máximo de produção que pode ser alcançado a dada tecnologia e fatores de produção disponíveis. Ou seja, pressupõe que as firmas empregam os fatores de forma eficiente.

¹⁷ Cada curva isoquanta representa um nível de produção e cada conjunto de isoquantas está associado uma função de produção específica.

¹⁸ Para conveniência da análise, o autor adota as definições desenvolvidas por Fellner.

¹⁹ Representa as diferentes combinações de dois fatores que podem ser empregadas a um custo total constante.

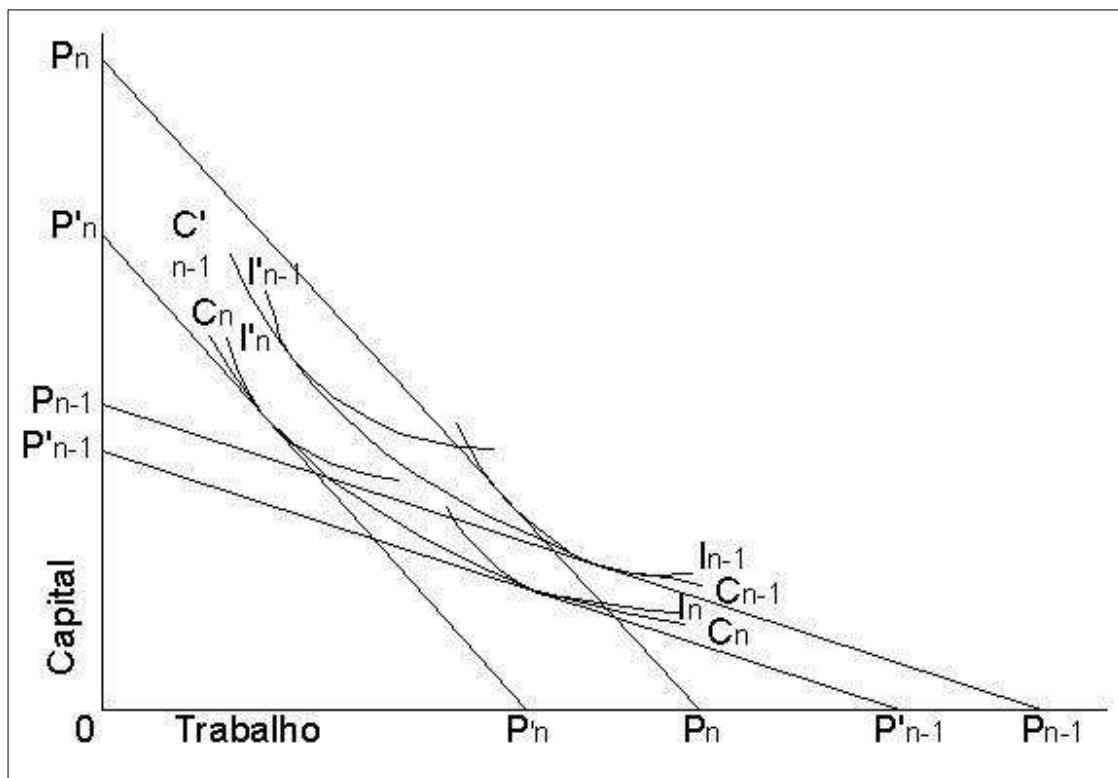


Figura 1 – Inovação induzida pelo aumento no preço relativo do trabalho para o capital
 Fonte: Ahmad (1966).

Para isolar o efeito da mudança no preço dos fatores na natureza do processo inovador, pressupõe-se que a CPI seja neutra²⁰, ou seja, a dado preço relativo, a n -ésima inovação usa a mesma proporção de fatores que era empregada na $(n-1)$ -ésima inovação. Isto posto, duas isoquantas sobre duas CPI neutras também serão neutras para cada razão de preço dos fatores.

Quando o preço do fator trabalho aumenta, elevando a razão dos preços de trabalho para o capital de $P_{n-1}P_{n-1}$ para P_nP_n , o movimento do ponto de tangência entre a isoquanta I_{n-1} (sobre a CPI C_{n-1}) com a isocusto $P_{n-1}P_{n-1}$ em direção ao ponto de tangência entre a isoquanta I_{n-1} com a isocusto P_nP_n representa um processo de substituição entre os fatores na medida em que o movimento ocorre sobre a mesma isoquanta. No entanto, se a mudança for em direção ao ponto de tangência entre a isoquanta I_n (sobre a CPI C_n) e a isocusto $P'_nP'_n$ (que tem a mesma inclinação de P_nP_n), ocorre inovação poupadora do fator trabalho que tornou-se relativamente mais caro. A isoquanta I_{n-1} é neutra para I_n (pois, C_{n-1} é neutra para C_n), enquanto I'_n é

²⁰ Se a CPI for tendenciosa na direção de um fator específico, a resposta à mudança no preço relativo será modificada, mas ainda economizará o fator que tornou-se mais caro.

poupadora de trabalho em relação a I_n ²¹, logo, I_n será poupadora de trabalho quando comparada a I_{n-1} .

Hayami e Ruttan (1985) apoiam-se nesse modelo desenvolvido por Ahmad (1966) para explicar as diferenças na produtividade e na trajetória de desenvolvimento agrícola²² dos países. A diferença no preço relativo dos fatores, sinalizando a diferença na dotação relativa dos países, explica a existência de viés em suas trajetórias de inovação poupadora de fator distinto.

Uma contribuição importante para a teoria refere-se à extensão da análise da inovação²³ induzida para entender a inovação promovida pelo Estado e suas instituições públicas que, igualmente àquela desenvolvida no setor privado maximizador de lucro, responde aos estímulos do mercado. Por conseguinte, a mudança no preço relativo dos fatores induzirá a inovação a uma trajetória eficiente, desde que os preços no mercado sinalizem corretamente a demanda e a oferta de produtos e fatores e que exista efetiva interação entre agricultores, instituições públicas de pesquisa e indústrias produtoras de insumos e equipamentos agrícolas²⁴.

Com o crescimento da demanda de produtos agrícolas e o aumento consequente no preço relativo do insumo de oferta relativamente inelástica, o produtor busca alternativas técnicas que sejam poupadoras daquele fator. Mais efetivamente, por meio de associações ou organizações políticas, os produtores pressionam o setor público para desenvolver pesquisa e as indústrias para ofertar novos insumos substitutos. À proporção que se observa potencial lucratividade e que há interesse do planejador de políticas públicas em desenvolver estrategicamente o setor (para manter a competitividade no mercado externo, viabilizar economicamente a substituição de importações, entre outros), a inovação será induzida à trajetória poupadora do fator relativamente escasso.

Para dar suporte empírico, os autores verificaram que nos EUA os preços no mercado sinalizaram eficientemente a relativa escassez do fator trabalho e induziram mecanização e aumento da produtividade desse fator. Já no Japão, sua trajetória de

²¹ A convexidade da CPI garante que o movimento de uma isoquanta para outra seja poupador do fator relativamente mais caro.

²² O estudo é motivado pelo entendimento de que a agricultura tem papel importante no desenvolvimento econômico.

²³ O termo inovação usado pelos autores envolve processos que geram novidades na ciência, tecnologia, gestão industrial e organização econômica.

²⁴ Os autores admitem que uma restrição nesta interação poderá ser superada pelo “empreendedorismo político ou burocrático” que, ainda, é motivado pela dotação relativa de recursos (USUI, 1995).

modernização agrícola foi centrada no desenvolvimento de fertilizantes para aumentar a produtividade da terra, fator relativamente escasso e caro nesse país.

Cabe observar que Hayami e Ruttan (1985) argumentam que tanto a demanda dos produtos quanto o preço relativo dos fatores estão na natureza da trajetória de inovação escolhida por uma economia²⁵. No entanto, o papel determinante da demanda dos produtos já havia sido introduzido na literatura da inovação induzida nos anos 1960.

Schmmokler (1966) foi pioneiro em enfatizar que quanto maior for o mercado de fato ou potencial, maior será a atividade inovadora direcionada ao mesmo devido à relação positiva entre seu tamanho e lucratividade e ao aumento da probabilidade de que agentes inovadores encontrem problemas que demandam novas soluções. O autor verifica empiricamente que patentes classificadas por indústria de uso (inovação de processos utilizada internamente) têm maior relação com a demanda dos produtos relativamente às patentes classificadas por indústria de origem (inovação nos produtos vendidos). Tal classificação foi proposta para isolar o efeito da capacidade tecnológica sobre a inovação induzida pela demanda. Sherer (1982) replica seu estudo e, lançando mão de uma classificação de indústrias conforme o grau de riqueza percebida na sua base de conhecimento, introduz *dummies* para capturar a influência dos diferentes níveis de capacidade tecnológica na inovação.

Antes de apresentar a aplicação da referida teoria ao caso específico da inovação em biodiesel, faz-se necessário expor algumas considerações em relação ao estado da arte sobre as teorias econômicas que abordam os determinantes da inovação. *Pari passu* à corrente neoclássica, estudos baseados em pressupostos não ortodoxos foram desenvolvidos por Schumpeter (1939) e aprofundados por seus seguidores, chamados neoschumpeterianos ou evolucionários²⁶. Esses estudos questionam, sobretudo, a ênfase no papel da demanda e da mudança no preço relativo dos fatores dada pela abordagem *demand-pull* que subordinou o efeito da capacidade científica e tecnológica, fator que atua sobre a inovação pelo lado da oferta. Com base em Rosenberg (1974), as inovações não são igualmente possíveis (ou custosas) nas diferentes indústrias em razão de existir diferenças no estágio de desenvolvimento dos diversos campos científicos e tecnológicos. Para Dosi (1982), os paradigmas

²⁵ Os autores assumem que a parte da inovação que não é induzida por determinantes do lado da demanda é exogenamente explicada pelo lado da oferta por meio do progresso na ciência, que aumenta a capacidade tecnológica de inovar em setores específicos.

²⁶ Para ilustrar, os neoschumpeterianos abandonam os pressupostos ortodoxos (neoclássicos) de racionalidade, maximização e equilíbrio.

tecnológicos²⁷ estabelecem as oportunidades tecnológicas para no que tange as inovações, ou seja, moldam e limitam a taxa e a direção da mudança técnica. Um paradigma tecnológico estabelece o padrão de solução de problemas tecnológicos em cada indústria e determina o campo de pesquisa, os problemas, os procedimentos e as tarefas. Apesar de não fundamental, ressalva-se que a influência do mercado não deve ser desprezada (MOWERY E ROSENBERG, 1979)²⁸.

Em vista disso, para que se possa verificar como se dá a relação entre o preço do petróleo e as políticas públicas com a inovação no biodiesel, é reconhecida a necessidade de se incorporar fatores que afetam a inovação pelo lado da oferta. Em conformidade com a literatura empírica (que será apresentada na próxima seção), apresenta-se a abordagem *technology-push* para dar suporte teórico à importância desses fatores.

2.1.1. Inovação Induzida e Biodiesel

Nesta subseção, aplica-se a abordagem da inovação induzida para dar suporte teórico ao objetivo específico que pretende verificar como a inovação no setor de biodiesel está relacionada com o preço do combustível fóssil.

Utiliza-se o mecanismo da CPI proposto por Ahmad (1966) com o propósito de visualizar o processo de inovação no mercado de combustíveis líquidos, onde o biodiesel é uma alternativa tecnológica substituta ao diesel. Na Figura 2, para os períodos 0 e 1, C_0 e C_1 são curvas CPI neutras e I_0 , I_1 e I_1' são isoquantas (de um dado nível de produto) que representam funções de produção da mistura dos combustíveis para diversas combinações (proporção do volume) do biodiesel com o diesel.

²⁷ Onde a tecnologia define-se como um conjunto de partes do conhecimento codificado (teórico) e do conhecimento tácito (*know-how*).

²⁸ Na corrente evolucionária, o mercado constitui um dos mecanismos de seleção *ex-post* da inovação dentre opções de trajetórias.

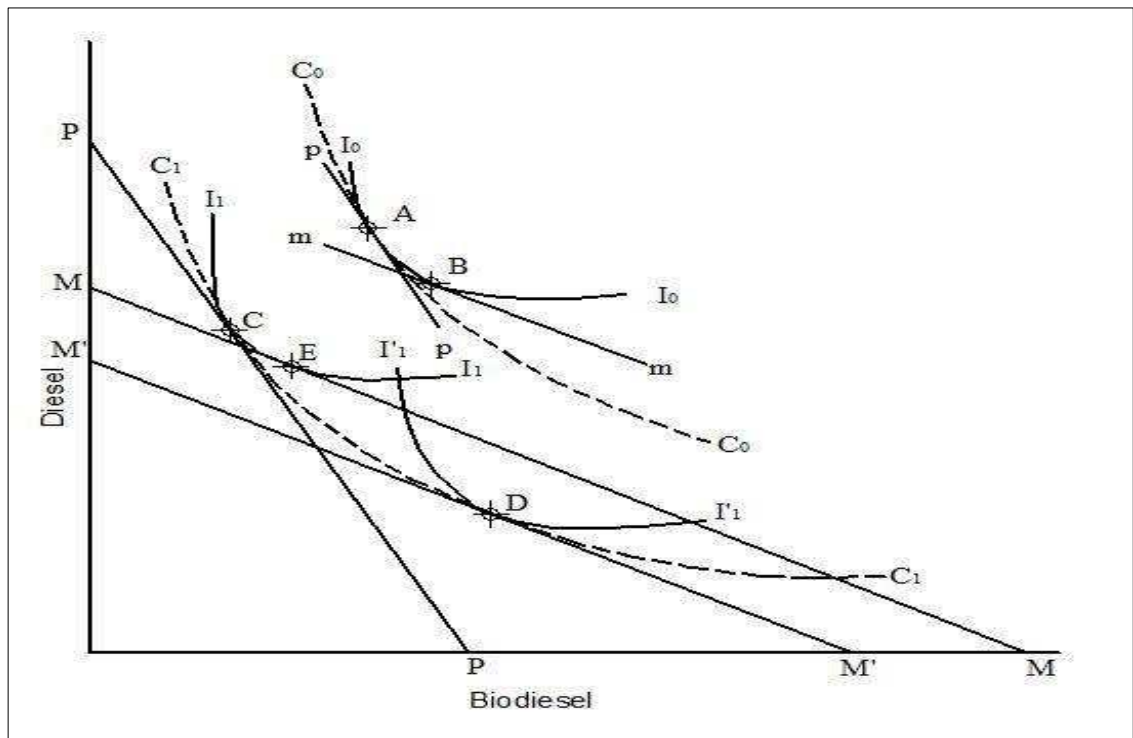


Figura 2 – Inovação induzida pelo aumento relativo no preço do diesel derivado do petróleo
 Fonte: Elaboração própria.

No tempo 0, a isoquanta I_0 representa uma combinação específica de biodiesel com diesel que minimiza custos de produção no ponto A (tangente à C_0) dada a razão dos preços pp . Com a tendência de elevação no preço do diesel, a razão dos preços pode ser representada pela isocusto mm . O aumento relativo no preço do diesel aumenta a demanda do biodiesel, tecnologia substituta, para fins de minimização de custos. Logo, no período 1, após o deslocamento da isoquanta, I_1 minimiza custos no ponto D (tangente à C_1). A distância MM' representa o ganho adicional pelo desenvolvimento de inovação poupadora de diesel (ao invés de inovação poupadora de biodiesel – ponto E na isoquanta I_1).

2.2. Determinantes *Technology-push* da Inovação

Para que seja possível analisar e obter a relação do preço do combustível fóssil e das políticas públicas com a inovação no biodiesel, deve-se mensurar também a influência da capacidade tecnológica sobre a atividade inovadora²⁹. A capacidade tecnológica refere-se ao grau de “facilidade” (o quanto é custosa) a inovação na

²⁹ Tal necessidade é ratificada nos estudos empíricos apresentados na próxima seção.

indústria, dado o preço do insumo no mercado (COHEN e LEVIN, 1989). Em outras palavras, espera-se que quanto maior seja o nível de conhecimento acumulado em uma firma, maior será sua habilidade em desenvolver novas tecnologias e menores o esforço e custo dispendidos no processo. Na literatura empírica, é amplamente representada por alguma medida de estoque de conhecimento.

Os estudos seminais na literatura da inovação induzida estão centrados no papel das forças de mercado que afetam a inovação por alterar sua demanda. Embora mencionada e em alguns casos mensurada, a capacidade tecnológica que afeta a inovação pelo lado da oferta é tratada como fator exogenamente determinado. A esse respeito, Cohen e Levinthal (1989) propõem um modelo teórico que explica a geração do conhecimento tecnológico da firma endogenamente³⁰. Ao simplificar seu modelo³¹ assumindo que a capacidade tecnológica da firma refere-se ao conhecimento tecnológico e científico gerado e acumulado internamente³², pode-se mostrar que o aumento da capacidade tecnológica ou do estoque de conhecimento tem efeito positivo sobre o nível ótimo de inovação da firma.

Inicialmente, pressupõe-se a existência de n firmas atuando na indústria com uma política simétrica de inovação. Cada firma escolhe seu nível de inovação para maximizar seu lucro tomando o nível de inovação dos $n-1$ competidores como dado no mercado.

Considere que adições ao estoque de conhecimento científico e tecnológico sejam representadas por e_i :

$$e_i = \text{inovação}_i \quad (1)$$

em que o conhecimento tecnológico é função da própria inovação desenvolvida pela firma i .

Nesta tese, ao utilizar o método do inventário perpétuo para mensurar o estoque de conhecimento, (1) equivale a (2):

$$E_{i,t-1} = \text{inovação}_{i,t-1} + E_{i,t-2}$$

³⁰ A partir deste modelo, os autores pretendem demonstrar que o investimento em P&D, além de possível medida de inovação, determina o grau de aprendizado ou capacidade de absorção da firma do conhecimento disponível externamente.

³¹ O modelo considera que o aumento no estoque de conhecimento de uma firma depende do conhecimento gerado nas outras firmas e nas outras indústrias, além do próprio conhecimento gerado internamente.

³² Analogamente, nesta tese, assume-se que a capacidade tecnológica de cada país refere-se ao conhecimento tecnológico disponível internamente em cada país.

$$\Delta E_{i,t-1} = \text{inovação}_{i,t-1} \quad (2)$$

A função de lucro bruto em cada firma é representada como segue:

$$\Pi^i = \Pi_{e_i}^i(e_i) \quad (3)$$

em que pressupõe-se que e_i aumenta o lucro bruto da firma a taxas decrescentes, ou seja, $\Pi_{e_i}^i > 0$ e $\Pi_{e_i e_i}^i < 0$.

A função do retorno marginal da inovação de cada firma é obtida pela diferenciação de (3) em relação à *inovação*_{*i*}:

$$R \equiv \frac{\partial \Pi^i}{\partial \text{inovação}_i} \equiv \Pi_{e_i}^i \quad (4)$$

Resolvendo (4) para a condição de maximização de primeira ordem, $\Pi_{e_i}^i = 0$, para as n firmas simultaneamente, obtém-se o nível de equilíbrio de inovação de cada firma *inovação*^{*}.

Assumindo que a capacidade tecnológica que mensura o grau com que o novo conhecimento e melhora o desempenho tecnológico de manufaturar processos e produtos na firma, seja representada pela variável f , pode-se mostrar o efeito da capacidade tecnológica sobre o nível ótimo de inovação pela derivada de (4) em relação a f , que dá o sinal de $\frac{\partial \text{inovação}^*}{\partial f}$ ³³:

$$\text{sign} \left(\frac{\partial \text{inovação}^*}{\partial f} \right) = \text{sign} \left(\Pi_{e_i, f}^i \right) = \text{sign} \left(R_f \right) \quad (5)$$

em que $\Pi_{e_i, f}^i > 0$, pois pressupõe-se que quanto mais o conhecimento melhora o desempenho tecnológico, mais ele aumenta o lucro. Dessa forma, é possível visualizar que $\frac{\partial \text{inovação}^*}{\partial f} > 0$, ou seja, o crescimento da capacidade tecnológica ou estoque de

³³ Para qualquer parâmetro s , pode ser demonstrado que o sinal de $\partial \text{inovação}^* / \partial s$ é igual ao sinal de R_s . A prova está disponível em um apêndice técnico daqueles autores.

conhecimento aumenta o nível ótimo de inovação na firma, já que aumenta seu lucro ao reduzir custos no desenvolvimento de novas tecnologias.

Embora em comunhão com a corrente evolucionária na admissão da existência de atividade inovadora independente da demanda, a abordagem *technology-push* é questionada pela linearidade que assume na relação ciência-tecnologia-produção e pelo estabelecimento limitado de fontes de conhecimento.

Rosenberg (1969) destaca a importância dos “gargalos” tecnológicos no processo produtivo dado que, ao concentrarem a atenção de cientistas e inovadores, apontam novas soluções de alocação eficiente dos recursos baseadas no estado do conhecimento referente a uma tecnologia. Observa-se, dessa maneira, a importância do aprendizado tecnológico do tipo *learning by doing*. Igualmente relevante para o processo inovador é o aprendizado *learning by using*, aprendizado pelo qual o consumidor desenvolve o uso mais eficiente do bem, gerando *feedback* para a indústria. Esses dois concretizam exemplos que demonstram a não linearidade, uma vez que a produção também gera conhecimento que gerará inovação tecnológica e, também, que o conhecimento científico é construído a partir de diversas fontes além das atividades específicas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).

Ciente das limitações, a abordagem *demand-pull* e *technology-push* apresentam-se adequadas a esta tese que pretende observar a relação existente entre o preço do petróleo e políticas públicas com a inovação no biodiesel, haja vista que a primeira teoria descreve especificamente o papel da mudança no preço relativo de petróleo e biodiesel e da demanda “assegurada” pela introdução de políticas públicas³⁴ no setor.

2.3. Inovação no Biodiesel e Políticas Públicas

Nesta subseção, expõe-se brevemente a relação entre a inovação no biodiesel e as políticas públicas no contexto da teoria da inovação induzida e determinantes *technology-push*, dando suporte ao segundo objetivo específico da tese.

As políticas de uso de biocombustíveis objetivam reduzir o nível de emissões de GEE no intuito de atender a demanda mundial pela desaceleração do processo de aquecimento global e, adicionalmente, diminuir a dependência de fontes não renováveis, gerando emprego e renda internamente nas economias dos países

³⁴ A atuação do Estado na teoria neoclássica, com a introdução de políticas públicas, tem motivação diferente da teoria evolucionária. Para maiores detalhes ver COSTA (2016).

importadores (líquido) de petróleo. Visando torná-las efetiva, os governos lançam mão de instrumentos de política fiscal e regulatória.

Os principais instrumentos de incentivo fiscal referem-se à redução ou isenção de impostos e à concessão de subsídios, enquanto os de política de regulação dizem respeito à definição de meta de produção ou consumo e ao estabelecimento de percentual mínimo obrigatório ou voluntário de biodiesel no diesel vendido³⁵.

Espera-se que ambos os tipos de política sejam determinantes *demand-pull*, estimulando a atividade de inovação no biodiesel pelo lado da demanda, já que os instrumentos da política fiscal atuam reduzindo os custos de produção e, conseqüentemente, o preço relativo do biodiesel para o diesel. Ainda, aqueles da política regulatória asseguram demanda ao produtor aumentando, dessa forma, o retorno e a demanda da inovação no biodiesel.

Adicionalmente, espera-se que a política nacional de investimento em P&D seja um determinante do tipo *technology-push* aumentando a capacidade tecnológica nacional, da qual o setor de biodiesel pode se beneficiar. Os governos atuam diminuindo os custos da inovação pela própria pesquisa que desenvolve, pela disseminação do conhecimento tecnológico e pelo subsídio da pesquisa privada (COHEN e LEVIN, 1989).

³⁵ Para detalhes, consultar [IEA/IRENA Global Renewable Energy Policies and Measures Database](http://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/). Disponível em: <http://www.iea.org/policiesandmeasures/renewableenergy/>.

3. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

Em geral, a literatura empírica sobre os determinantes da inovação no setor de biocombustíveis é motivada por preocupações relacionadas à segurança energética, à diminuição da dependência externa de fontes fósseis de energia e à mitigação das mudanças climáticas. Nesse último caso, pode-se destacar que a inovação desempenha significativo papel no abatimento das emissões de GEE por meio de ganhos de eficiência energética ou pela redução do custo da produção de biocombustíveis vis-a-vis os custos dos combustíveis fósseis.

Lichtenberg (1986) realiza um dos primeiros estudos que testa empiricamente a teoria da inovação induzida. Seu objetivo é investigar o efeito da mudança do preço da energia e de outros insumos intermediários sobre os gastos em P&D da indústria manufatureira dos Estados Unidos. Utilizando a taxa de variação dos gastos em P&D de 1972 para 1976 de 28 setores industriais, o autor observa que aumentos no preço da energia estão associados a aumentos na taxa de investimento de P&D. Por conseguinte, fornece uma primeira evidência empírica de que o aumento no custo dos fatores é fator indutor de inovação.

Popp (2002)³⁶ estende a análise de Lichtenberg (1986) ao incorporar fatores *technology-push*. A partir de dados de patentes em energia dos Estados Unidos no período de 1970 a 1994, o autor busca identificar o papel do preço da energia e do estoque de conhecimento sobre a inovação relacionada à eficiência energética. Seus resultados confirmam que ambos os fatores estão positivamente correlacionados com a inovação. Além disso, a omissão do estoque de conhecimento gera problemas de especificação nas equações estimadas evidenciando, assim, a relevância de incorporar fatores *technology-push* às análises empíricas.

Popp (2006) pesquisou se as políticas de regulação ambiental nacional e a internacional induzem inovação em tecnologias de controle da poluição do ar. Com dados de patentes de tecnologias destinadas a reduzir emissões de dióxido de nitrogênio (NO_x) e dióxido de enxofre (SO₂) de usinas a carvão dos Estados Unidos, Alemanha e Japão, o autor observa a intensificação da atividade inovadora quando da implementação de uma política em seu próprio país. Também, foi verificado que

³⁶ Realiza o primeiro estudo que emprega dados de patentes para testar a teoria da inovação induzida introduzida por Hicks (1932).

patentes de países que têm mais avançada a regulação em NO_x são importantes para a inovação no controle dessas emissões nos Estados Unidos. Ou seja, a inovação ocorre mesmo que a tecnologia já tenha experimentado significativa atividade inovadora em outros países devido aos investimentos em P&D. Dessa forma, o autor volta a realçar a importância de fatores *technology-push* ao enfatizar o papel dos gastos em P&D para viabilizar a absorção de tecnologias desenvolvidas por terceiros, permitindo às firmas beneficiar-se de *spillovers* da inovação.

Utilizando dados de patentes para 12 tipos de tecnologias relacionadas à eficiência energética e à redução de danos ambientais, Verdolini e Galeotti (2011) voltam a tratar do efeito de *spillovers* de conhecimento e constatam que o estoque de conhecimento de países estrangeiros tem efeito positivo na inovação de um país específico. Fornecem, ainda, evidências de que o efeito do referido estoque é muito superior àquele do estoque interno nos países com menor nível de atividade inovadora, ressaltando assim o papel da transferência de tecnologia. Resultados semelhantes já haviam sido reportados por Lanjow e Mody (1996), os quais argumentam que a inovação nos países em desenvolvimento é decorrente da necessidade de adaptar as tecnologias transferidas à realidade local.

Johnstone, Hasic e Popp (2010) dão ênfase ao papel das políticas públicas na inovação em seis tipos de fontes renováveis de geração de energia elétrica. Os resultados sugerem que a efetividade da política varia segundo as diferentes tecnologias. Enquanto uma política de certificados de uso energia renovável é determinante para inovação em tecnologias de geração eólica e geotérmica, políticas que garantem preço mínimo parecem exercer efeito positivo sobre a inovação na energia solar. Ainda no setor de geração, Lanzi, Hascic e Johnstone (2012) observam que a inovação em energias renováveis é mais sensível a variações no preço de combustíveis fósseis do que aquela desenvolvida na própria energia fóssil em termoelétricas. Já os resultados de Kruse e Wetzel (2015) sugerem que a disponibilidade de conhecimento tecnológico é o principal determinante da inovação relacionada à eficiência energética e à energia renovável. Ademais, indicam que a inovação em biocombustíveis responde positivamente aos gastos governamentais em P&D.

A literatura empírica que analisa o papel da regulação como determinante da inovação ganha força no fim dos anos de 1990. Jaffe e Palmer (1997) têm como objetivo verificar se países sujeitos à regulação ambiental mais severa apresentam maior atividade inovadora. A hipótese subjacente à investigação é que a regulação ambiental, ao elevar o custo de abatimento da poluição, cria demanda efetiva pelo controle da

poluição e estimula o desenvolvimento de tecnologias inovadoras. Os autores observam que uma vez mensurada como gasto privado em P&D, a inovação responde positivamente ao aumento de gastos para atendimento da legislação ambiental. Por outro lado, ao utilizar como medida de inovação o número de patentes emitidas na indústria, essa relação não se verifica. Para justificar tal inconsistência, os autores levantam a hipótese de que o aumento de P&D induzido pela regulação ambiental produziria resultados que contribuem para o atendimento desta, mas que não resultam em inovações passíveis de atribuição de patentes. Vale ressaltar que os autores empregam o total de patentes na indústria ao invés daquelas relacionadas estritamente às tecnologias ambientais.

A relação entre regulação ambiental e inovação é também o foco do trabalho de Brunnermeier e Cohen (2003). Os pesquisadores investigam os efeitos dessa política e das ações de fiscalização por parte do órgão ambiental sobre o número de patentes relacionadas ao meio-ambiente na indústria de transformação dos Estados Unidos no período de 1983 a 1992. Os resultados sugerem uma relação positiva entre o gasto em abatimento da poluição e inovação. Por outro lado, não encontram evidência de que a frequência da fiscalização influencia a inovação nesta indústria.

Karmarkar-Deshmukh e Pray (2009) realizam a primeira avaliação empírica dos determinantes da inovação no setor de biocombustíveis. Seu objetivo é averiguar o papel das políticas governamentais e de fatores econômicos – em especial o preço do petróleo – na inovação no setor de etanol. A partir de dados de patentes do setor privado nos Estados Unidos no período de 1980 a 2006, os autores encontram evidências empíricas de que o aumento no preço do petróleo e dos recursos governamentais destinados a P&D em biocombustíveis induzem inovação no setor de etanol. Contrariamente ao esperado, a política que estabelece percentual mínimo de mistura de etanol à gasolina não exerce efeito estatisticamente significativo sobre a inovação.

A partir de dados de patentes para o período de 1976 a 2012, Jang e Du (2013) voltam a estudar os determinantes da inovação no setor de etanol dos Estados Unidos e analisam o papel de fatores *demand-pull* (preço do petróleo, gasto governamental em P&D no setor de biocombustível e a existência de política federal de fomento) e de fatores *technology-push* (estoque de conhecimento) sobre a inovação. Evidenciam que fatores de ambos os lados são determinantes da inovação no setor. No entanto, assim como Karmarkar-Deshmukh e Pray (2009), seus resultados sugerem que a existência de políticas (mensurada por variáveis *dummies*) não exerce efeito sobre a inovação.

Já Freitas e Kaneko (2012) analisam os determinantes da inovação do setor de etanol no caso brasileiro. Os resultados indicam que o consumo de etanol é fator determinante do número de patentes, o que leva a concluir que o aumento na demanda de mercado potencialmente estimula a inovação no setor. O aumento do preço do etanol e do preço da gasolina também está associado a um aumento do número de patentes. Nota-se que os autores não mensuram o efeito de políticas sobre a inovação.

4. METODOLOGIA

4.1. Método Econométrico

Para mensurar inovação é comum o uso de duas *proxies* clássicas, a saber: dados de investimento em P&D (medida *input* no processo de inovação) e dados de patente³⁷ referente a determinada tecnologia (medida *output*)³⁸. Na tese, opta-se pelo uso de patentes, pois mensura o resultado ou produto observado no processo inovador que poderá entrar no sistema econômico modificando as relações de produção. Já os gastos em P&D, embora importantes no processo de construção do conhecimento científico, podem não ser efetivos na produção ou geração de inovação de fato. Para mais, patente é uma medida amplamente utilizada por prover informação desagregada sobre a natureza da inovação e do depositante, permitindo identificar mais detalhadamente a tecnologia específica desenvolvida e o país de origem do processo. A escolha é, também, corroborada pelos diversos estudos empíricos que validam o seu uso pela forte correlação que apresenta com a atividade de P&D (GRILICHES, 1990).

O número de patentes emitidas por um país a cada ano é uma variável não negativa e discreta caracterizando-se, assim, como uma variável de contagem. Desta forma, para identificar a relação entre o número de patentes emitidas pelos países ao longo dos anos e os determinantes da inovação, são apresentados métodos econométricos que consideram as propriedades específicas de dados de contagem.

4.1.1. Estimador de Quase-Máxima Verossimilhança (EQMV) para Modelo de Poisson em *Pooled Panel*

O estimador de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), baseado no pressuposto de erros normalmente distribuídos, obtém a esperança condicional da variável dependente como uma função linear dos parâmetros. Na medida em que dados do tipo contagem não são normalmente distribuídos, a aplicação do MQO demonstra ajuste inadequado do modelo linear, que conduz a valores estimados negativos da

³⁷ A patente é um título de propriedade temporária sobre a inovação de um produto ou processo concedido pelo Estado ao depositante do pedido, que se compromete a revelar detalhes técnicos da matéria protegida. Para que um pedido seja elegível a uma patente, a inovação deve conter novidade, envolver um avanço inventivo não óbvio e ser economicamente viável.

³⁸ Para ampla discussão sobre a abordagem *input-output* na ciência, consultar Godin (2007).

variável dependente. Uma alternativa eficaz que garante valores previstos sempre positivos é aplicar um estimador de Máxima Verossimilhança (MV) baseado na especificação da variável dependente de contagem como uma função exponencial:

$$\mu_{it} = E[y_{it}/x_{it}] = \exp(\delta + x_{it}'\beta) = \alpha \exp(x_{it}'\beta) \quad ; \quad i = 1, \dots, N \quad \text{e} \quad t = 1, \dots, T \quad (6)$$

em que a esperança ou média condicional de y_{it} é positiva, $\mu_{it} > 0$; $\delta = \ln \alpha$; os indivíduos i têm um valor médio comum para o intercepto $\alpha = E_{\alpha_i}(\alpha_i)$ e o efeito específico de cada indivíduo α_i é independente do vetor x_{it} de k variáveis explicativas, $E(x_{it}\alpha_i) = 0$.

Pressupõe-se que a variável dependente y_{it} apresenta distribuição de Poisson com a função de probabilidade:

$$f(y_{it}/x_{it}) = \frac{e^{-\mu_{it}} \mu_{it}^{y_{it}}}{y_{it}!} \quad ; \quad y_{it} = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

A distribuição de Poisson apresenta propriedade de equidispersão, ou seja, tem média e variância iguais:

$$\begin{aligned} E[y_{it}/x_{it}] &= \mu_{it} \\ V[y_{it}/x_{it}] &= \mu_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

em que $V[y_{it}/x_{it}] = \exp(\delta + x_{it}'\beta)$. Por conseguinte, verifica-se que o modelo é heterocedástico, já que a variância muda com o valor de x .

A partir de uma amostra (x_{it}, y_{it}) aleatória é possível obter a função log-verossimilhança a partir de (6) e (7):

$$\ln L(\beta) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [y_{it}(\delta + x_{it}'\beta) - \exp(\delta + x_{it}'\beta) - \ln y_{it}!] \quad (9)$$

A partir da primeira derivada de (9) em relação a β , obtém-se o Estimador de Máxima Verossimilhança (EMV) de Poisson, $\hat{\beta}_p$, pela resolução da seguinte condição de primeira-ordem para K equações não lineares:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T [y_{it} - \mu_{it}] x_{it} = 0 \quad (10)$$

em que $\mu_{it} = \exp(\delta + x_{it}'\beta)$ e os resíduos $u_{it} = y_{it} - \mu_{it}$ têm soma zero.

O fato de todos os momentos da distribuição de Poisson serem determinados pela média torna a aplicação do EMV de Poisson muito restritiva, ao passo que (8) dificilmente é verificada. Quando os dados são gerados pelo processo de Poisson, mas o pesquisador não é capaz de especificá-lo corretamente devido à presença de componente aleatório na heterogeneidade não observada, verifica-se frequentemente a sobredispersão, em que a variância excede a média.

Nesse caso, considerando que a média condicional μ_{it} mantém-se corretamente especificada, o EMV de Poisson permanece consistente, porém, os erros-padrão são subestimados e a estatística de teste-z pode levar a falsas conclusões quanto à significância dos parâmetros estimados.

Uma primeira alternativa é a aplicação do estimador robusto à heterocedasticidade na matriz de variância e covariância:

$$\hat{V}[\hat{\beta}_p] = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{\mu}_{it} x_{it} x_{it}' \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T (y_{it} - \hat{\mu}_{it})^2 x_{it} x_{it}' \right) \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \hat{\mu}_{it} x_{it} x_{it}' \right)^{-1} \quad (11)$$

Logo, quando se aplica (11), obtém-se o estimador de Quase-Máxima Verossimilhança (EQMV) para o modelo de Poisson, que é consistente sob $\mu_{it} = \exp(\delta + x_{it}'\beta)$ e robusto, mesmo sob falha na especificação da distribuição da variável dependente. O modelo de Poisson Robusto obtido pelo EQMV é também chamado Pseudo-Poisson.

Para captar a sobredispersão explicitamente, a alternativa disponível é o modelo Binomial Negativo (BN).

4.1.2. Estimador de Máxima Verossimilhança (EMV) para Modelo Binomial Negativo (BN) em *Pooled Painel*

Com a finalidade de ratificar a necessidade do estimador Binomial Negativo, deve ser executado o teste estatístico de sobredispersão após a estimação do modelo de Poisson. A sobredispersão testada assume a seguinte forma:

$$V[y_{it}/x_{it}] = \mu_{it} + \varphi g(\mu_{it}) \quad (12)$$

em que, a variância é uma função linear se $g(\mu_{it}) = \mu_{it}$ ou quadrática se $g(\mu_{it}) = \mu_{it}^2$. Quando $\varphi = 0$, a hipótese de equidispersão se mantém e a aplicação do modelo de Poisson é adequada. Quando $\varphi \neq 0$ e $\varphi > 0$, verifica-se sobredispersão nos dados e o modelo Binomial Negativo pode ser aplicado.

A hipótese nula de equidispersão postulada em (8) é testada contra a hipótese alternativa $V[y_{it}/x_{it}] = \mu_{it} + \varphi \mu_{it}^2$ pela aplicação do teste t no parâmetro φ da seguinte equação obtida por MQO:

$$\frac{(y_{it} - \hat{\mu}_{it})^2 - y_{it}}{\hat{\mu}_{it}} = \varphi \hat{\mu}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

em que $\hat{\mu}_{it} = \exp(\hat{\delta} + x_{it}'\hat{\beta})$ e ε_{it} é o termo de erro.

Quando a hipótese nula é rejeitada, a aplicação do modelo Binomial Negativo permite obter estimativas eficientes por assumir que a sobredispersão é resultante de aleatoriedade gerada de forma multiplicativa na heterogeneidade não observada presente em y_{it} , assim, tem-se $y_{it} \sim \text{Poisson}(y_{it}/\mu_{it}v)$, em que v é independente e identicamente distribuído (iid) e $v \sim \text{Gamma}(1, \varphi)$. φ pode ser interpretado como a variância da heterogeneidade.

Portanto, a variável de contagem y_{it} deixa de ser condicional somente à média e assume distribuição do tipo Binomial Negativa, que apresenta a seguinte função de probabilidade:

$$f(y_{it}/\mu_{it}, \varphi) = \frac{\Gamma(y_{it} + \varphi^{-1})}{\Gamma(y_{it} + 1)\Gamma(\varphi^{-1})} \left(\frac{\varphi^{-1}}{\varphi^{-1} + \mu_{it}} \right)^{\varphi^{-1}} \left(\frac{\mu_{it}}{\varphi^{-1} + \mu_{it}} \right)^{y_{it}} ; \varphi > 0 \text{ e } y_{it} = 0, 1, 2, \dots \quad (14)$$

em que $\Gamma(\cdot)$ denota uma integral gamma específica a um fatorial de um termo inteiro. Quando $\varphi \rightarrow 0$ ($\nu \rightarrow 1$), o modelo Binomial Negativo acomoda o caso específico de equidispersão do modelo de Poisson.

Rejeitada a hipótese nula em (13), aplica-se o modelo BN2³⁹ que especifica $g(\mu_{it}) = \mu_{it}^2$ em (12), ou seja, modela a variância como uma função quadrática da média condicional de y_{it} :

$$E[y_{it} / \mu_{it}, \varphi] = \mu_{it}$$

$$V[y_{it} / \mu_{it}, \varphi] = \mu_{it}(1 + \varphi\mu_{it}) \quad (15)$$

O modelo BN2 é uma boa aproximação para uma função mais geral da variância, porque estabelece uma forma funcional mais flexível e, além disso, constitui empiricamente boa aproximação em uma ampla variedade de eventos de sobredispersão (CAMERON e TRIVEDI, 2009). Para outras especificações de (15), o estimador não tem propriedade de consistência. Posto isto, será não tendencioso somente se a distribuição dos dados de contagem estiver corretamente especificada (CAMERON e TRIVEDI, 2015).

Obtém-se o EMV para o modelo BN2 pela resolução das seguintes condições de primeira-ordem para β e φ , respectivamente:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \frac{y_{it} - \mu_{it}}{1 + \varphi\mu_{it}} x_{it} = 0$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \left\{ \frac{1}{\varphi^2} \left(\ln(1 + \varphi\mu_{it}) - \sum_{j=0}^{y_{it}-1} \frac{1}{j + \varphi^{-1}} \right) + \frac{y_{it} - \mu_{it}}{\varphi(1 + \varphi\mu_{it})} \right\} = 0$$

em que o EMV no modelo BN2 para β será consistente desde que a média condicional $\mu_{it} \equiv E[y_{it} / x_{it}] = \exp(\delta + x_{it}'\beta)$ seja corretamente especificada.

³⁹ O modelo NB1 especifica $g(\mu_{it}) = \mu_{it}$ em (12), tratando a variância como uma função linear da média condicional de y_{it} .

4.1.3. Modelo de Poisson e Binomial Negativo em Painel com Variável *Dummy* de Efeito Fixo

Ambos estimadores apresentados anteriormente não consideram a existência de heterogeneidade não observada entre os indivíduos quando especificam $\alpha = E_{\alpha_i}(\alpha_i)$ em $\mu_{it} = \alpha \exp(x'_{it}\beta)$. No entanto, tal condição é dificilmente verificada em dados em painel. Na tese, por exemplo, a propensão marginal a patentear difere entre os países variando conforme as instituições nacionais, os incentivos existentes à difusão do conhecimento ou a existência de outros meios que garantam ganhos de monopólio conforme as condições do mercado. Ademais, esta heterogeneidade é muito provavelmente correlacionada com variáveis do vetor x como gastos em P&D, visto que quanto maior estes últimos, maior a capacidade de desenvolvimento de tecnologias elegíveis a patentes. Nessa ótica, pressupondo que a heterogeneidade específica dos indivíduos e o vetor de variáveis explicativas têm correlação diferente de zero, $E(x_{it}\alpha_i) \neq 0$, reescreve-se (6):

$$\mu_{it} \equiv E[y_{it}/x_{it}, \alpha_i] = \alpha_i \exp(x'_{it}\beta) = \alpha_i \lambda_{it} \quad ; \quad i = 1, \dots, N \quad \text{e} \quad t = 1, \dots, T \quad (16)$$

em que $\mu_{it} > 0$; α_i é o efeito específico de cada país, $\exp(x'_{it}\beta) = \lambda_{it}$ e x_{it} é um vetor de K variáveis explicativas.

Logo, tem-se o seguinte modelo de efeito fixo:

$$y_{it} = \alpha_i \exp(x'_{it}\beta) + u_{it} \quad (17)$$

Na tese, a primeira opção empregada para obter (17) de forma consistente, com o termo de erro u_{it} aleatoriamente distribuído, é a aplicação de ambos estimadores especificados na subseção anterior com a inclusão de variáveis *dummies* de intercepto para os países no vetor x_{it} a fim de captar a heterogeneidade não observada nos modelos de Poisson Robusto e Binomial Negativo.

4.1.4. Modelo de Poisson em Painele de Efeito Fixo

Outra forma de obter estimativas consistentes para (17) quando a heterogeneidade não observada é correlacionada com as variáveis explicativas, $E(x_{it}\alpha_i) \neq 0$, é pela aplicação do Estimador Condicional de Máxima Verossimilhança (ECMV) de Poisson⁴⁰, que elimina o efeito específico de país.

Na presença de regressores estritamente exógenos, em que as K variáveis explicativas no vetor x_{it} são não correlacionadas com o termo de erro u_{it} , $E(x_{it}u_{it})=0$ para todo $t=1,2,\dots,T$ e $s=1,2,\dots,T$, o estimador pressupõe mais forte condição que aquela em (16) para a média condicional de y_{it} :

$$E[y_{it}/x_{i1},\dots,x_{iT},\alpha_i] = E[y_{it}/X_i,\alpha_i] = \alpha_i \lambda_{it} \quad ; \quad i=1,\dots,N \quad \text{e} \quad t=1,\dots,T \quad (18)$$

A função log-verossimilhança do Condicional Poisson é dada por:

$$\ln CL(\beta) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \Gamma(y_{it} + 1) - \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T y_{it} \ln \left[\sum_{s=1}^T \exp(-(x_{it} - x_{is})' \beta) \right] \quad (19)$$

em que $\Gamma(\cdot)$ é uma função gamma⁴¹.

A partir da primeira derivada de (19) em relação a β , obtém-se o Estimador Condicional de Máxima Verossimilhança (ECMV) de Poisson pela resolução da seguinte condição de primeira-ordem para β :

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T x_{it} \left(y_{it} - \frac{\bar{y}_i}{\lambda_i} \lambda_{it} \right) = 0 \quad (20)$$

em que $\bar{y}_i = T^{-1} \sum_{t=1}^T y_{it}$ e $\bar{\lambda}_i = T^{-1} \sum_{t=1}^T \lambda_{it}$.

Na tese, no entanto, a condição de exogeneidade estrita $E(x_{it}u_{it})=0$ não se verifica para todos os regressores, pois a variável que mensura o estoque de

⁴⁰ Cabe observar que também está disponível um estimador de efeito fixo para o NB1 proposto por Hausman, Hall, e Griliches (1984), no entanto, sua estimativa não é efetuada, na medida em que é apontada, na literatura, a existência de forte restrição entre o efeito específico e o parâmetro de sobredispersão (CAMERON e TRIVEDI, 2015). A ausência desta, não compromete as conclusões da tese.

⁴¹ Para mais detalhes ver Hausman, Hall, e Griliches (1984, p.917).

conhecimento em biodiesel contém um termo auto regressivo em sua formulação que está correlacionado com o termo de erro⁴².

Pressupondo fraca exogeneidade, pode-se especificar a seguinte média condicional de y_{it} :

$$E[y_{it}/x_{it}, \dots, x_{i1}] = E[y_{it}/X_i^{(t)}] = \alpha_i \lambda_{it} \quad (21)$$

em que admite-se a presença de um regressor predeterminado, $E(x_{it}u_{is})=0$ quando $s \geq t$, onde realizações presentes e futuras do erro são não correlacionadas com o vetor de variáveis explicativas.

Para obter estimativas consistentes para (17), uma alternativa diferenciação foi proposta por Chamberlain (1992b):

$$q_{it}(\theta) = \frac{\lambda_{i,t-1}}{\lambda_{it}} y_{it} - y_{i,t-1} = \frac{\lambda_{i,t-1}}{\lambda_{it}} u_{it} - u_{i,t-1} \quad (22)$$

em que $\lambda_{it} = \lambda_{it}(\theta)$.

Sob (21), tem-se:

$$E[q_{it}(\theta)/z_{it}] = 0$$

em que os instrumentos $x_{i,t-1}, x_{i,t-2}, \dots$, contidos em z_{it} , são predeterminados⁴³.

Dessa forma, quando o modelo é exatamente identificado, com o número de instrumentos igual ao número de parâmetros estimados, o estimador do Método dos Momentos Generalizados (MMG) resolve a seguinte condição de momento:

⁴² Na próxima subsecção, Base de Dados, apresenta-se a variável dependente $Pat_{i,t}$ (patentes em biodiesel depositadas por residentes do país i no tempo t) e a variável explicativa que mensura o estoque de conhecimento em biodiesel: $E_{i,t-1} = Pat_{i,t-1}^{total} + (1-\delta)E_{i,t-2}$. Nesta última, o termo auto regressivo defasado $Pat_{i,t-1}$ está contido em $Pat_{i,t-1}^{total}$ (patentes em biodiesel depositadas por residentes e não residentes no país). Cabe observar que não se trata de um modelo dinâmico, na medida em que o coeficiente de interesse não é do termo auto regressivo.

⁴³ É importante notar que este estimador não impõe qualquer restrição sobre a variância, assim, não pressupõe equidispersão.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T z_{it} q_{it}(\theta) = 0$$

Conforme Cameron e Trivedi (2015), é comum que o número de instrumentos seja superior ao total de parâmetros, portanto, o estimador MMG de dois passos de β minimiza:

$$\left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T z_{it} q_{it}(\theta) \right)' W_N \left(\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T z_{it} q_{it}(\theta) \right) = 0$$

em que W_N é uma eficiente matriz de peso.

4.2. Base de Dados

Nesta subseção, é descrito o processo de levantamento das informações necessárias para a construção das variáveis utilizadas nas especificações econométricas. Tal procedimento difere bastante entre a variável de patente e as variáveis explicativas na medida em que a primeira não está disponível com acesso direto no mesmo padrão destas últimas. Assim sendo, a subseção está dividida em três partes. A primeira trata da elaboração da base de patentes em biodiesel. A segunda descreve a construção das variáveis explicativas. Por fim, algumas estatísticas descritivas são apresentadas na terceira parte.

4.2.1. Patentes

Quando se opta pelo uso de dados de patentes é preciso considerar alguns aspectos que as caracterizam como uma medida imperfeita. Primeiramente, a duração do processo para a concessão de uma patente pode variar entre os países conforme as regras e características da instituição que concede tal direito. Conseqüentemente, para captar explicitamente a existência da defasagem temporal entre o pedido de uma patente e a sua emissão, classifica-se as patentes conforme a data de depósito do pedido que capta mais proximamente o período em que a inovação é desenvolvida⁴⁴.

⁴⁴ Esta prática é comum na literatura empírica. Dentre muitos, Popp (2002) e Karmarkar-Deshmukh e Pray (2009) são alguns exemplos.

Também, deve-se ressaltar outra característica que diz respeito às regras do instituto nacional de patentes. Em específico, para alguns países podem ser requisitadas patentes múltiplas para uma mesma inovação que seria coberta por uma única patente em outra nação (JOHNSTONE, HASCIC e POPP, 2010). Para contornar esta característica que dificulta a comparação do número de patentes entre os países, os dados sobre patentes no biodiesel são reduzidos à família de patentes na tese. Uma família de patente consiste no conjunto de pedidos e/ou patentes publicados no mesmo ou diferentes nações para proteger a mesma ou diversas inovações que dividem um mesmo aspecto (*World Intellectual Property Organization – WIPO*, 2013). Evita-se, assim, o potencial problema de dupla contagem.

Deste ponto, segue a descrição do procedimento para elaboração da base de dados de patentes no biodiesel. A partir de estudos realizados pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) do Brasil entre 2007 e 2011 que identificaram e disponibilizaram o número de pedidos de patentes relacionadas ao biodiesel em sua publicação, foi possível buscar e verificar a existência ou não de correspondente patente emitida. O primeiro estudo é intitulado “Mapeamento Tecnológico do Biodiesel e Tecnologias Correlatas Sob o Enfoque dos Pedidos de Patentes” e desmembrado em três volumes. Nos volumes II e III estão disponíveis o número de publicação dos pedidos depositados no Brasil e nos Estado Unidos e União Europeia, respectivamente, até o ano de 2007. Em seguida, o estudo é atualizado pela publicação semestral da série “Alerta Tecnológico” sobre patentes no biodiesel, que divulga o número de publicação dos pedidos depositados no período 2008 – 2011 em diversos países.

Para identificação dos pedidos relacionados ao biodiesel no mundo, a equipe responsável pelo estudo buscou, no título e resumo dos documentos, palavras-chave relacionadas ao biodiesel, a combustível e outros termos identificados na Classificação Internacional de Patentes (CIP)⁴⁵. Os bancos de dados consultados foram: EPODOC (*European Patent Office – EPO documentation*); WPI (*World Patent Index*); *Chemical Abstracts* e sistema EPOQUE (*EPO query service*). Após a leitura dos resumos dos documentos recuperados, foram retirados da base aqueles que não tratavam da matéria em questão⁴⁶. No total desses estudos, foram divulgados 277 números de publicação de

⁴⁵ A CIP foi estabelecida no Acordo de Estrasburgo e dispõe os documentos de patente de forma padronizada para facilitar a busca e acesso às informações legais e tecnológicas contidas nos mesmos. Pode tornar-se membro deste acordo qualquer país membro da Convenção de Paris, tratado internacional que rege as patentes sob administração do *World Intellectual Property Organization* (WIPO).

⁴⁶ A classificação das patentes relacionadas ao biodiesel é apresentada na Tabela A1 do ANEXO.

pedidos depositados no Brasil, 1035 nos Estados Unidos e 834 nos países da União Europeia⁴⁷.

Na tese, para averiguar a existência ou não de correspondente patente emitida a partir desses números, buscou-se primeiramente cada registro do número de publicação no *Espacenet*, um serviço gratuito de busca *online* na base de dados do EPO que padroniza informações bibliográficas dos diversos documentos de vários países. Cada registro pesquisado está associado a um ou mais códigos alfabéticos que caracterizam o tipo ou etapa da publicação do documento. A cada 100 registros inseridos na lista de “favoritos” (máximo permitido), efetuou-se o *download*. Nessas listas, as informações bibliográficas disponíveis e de interesse na tese são: número da publicação do pedido e da patente; código alfabético associado; data do depósito do pedido; registros de prioridade⁴⁸; o país de residência do depositante, número de vezes que o documento foi citado.

Na próxima etapa, foi realizada a análise dos códigos alfabéticos e mantiveram-se na lista apenas aqueles que identificavam a primeira publicação do pedido e da patente (quando existia) para que não ocorresse duplicação na coleta de dados, visto que a um mesmo registro poderiam estar associadas mais de uma publicação referente às diversas fases do processo de obtenção de uma patente. O significado desses códigos pode variar entre os países e, no mesmo país, conforme o ano ou escala do número de publicação, sendo necessária muita atenção⁴⁹.

Em seguida, foi identificado o registro dos pedidos (e correspondente patente) que pertenciam à mesma família “simples”, aquela que conjuga de igual conjunto de documentos prioridade. É preciso ressaltar que nesse ponto percebeu-se que a informação bibliográfica sobre os documentos membros da mesma família simples no *Espacenet*, identificados em “*also published as*” (em português: também publicado como), continha membros que não tinham exatamente o mesmo conjunto de prioridades. Assim, enquanto se manuseavam os dados, tomou-se a decisão de ordenar o conjunto de prioridades de cada registro para identificar aqueles que têm a prioridade mais antiga em comum. Posteriormente, voltou-se ao *site* no intuito de conferir, para

⁴⁷ O estudo também divulga algumas estatísticas descritivas e qualitativas sobre pedidos de patente para o período 1996 – 2006.

⁴⁸ A prioridade sobre determinada matéria parte de uma inovação é um direito que garante ao depositante o requisito de novidade para um segundo pedido de patente dentro de um intervalo de 12 meses a partir da data do primeiro depósito.

⁴⁹ A lista com os tipos de códigos, intitulada “*concordance of kind code*”, é periodicamente atualizada e disponibilizada no *site* do EPO em <https://www.epo.org/searching-for-patents/helpful-resources/raw-data/data/tables/regular.html>.

cada um destes registros, aqueles que, de fato, eram membros da mesma família simples.

Identificadas as famílias, o documento seria alocado para o país que tivesse a nação de residência do depositante coincidente à nação do documento prioridade. Quando há mais de um registro que atenda a esse critério (geralmente pedidos/patentes publicados no mesmo país), observou-se aquele com data de depósito mais antiga e, simultaneamente, com patente publicada. Quando esse critério também se verifica para mais de um registro, manteve-se na base o documento que foi mais citado dentre os membros da família.

A partir dessa base de dados sobre família de pedidos de patentes relacionadas ao biodiesel, selecionou-se, para a amostra de interesse, as patentes (famílias) no biodiesel depositadas por residente no país⁵⁰ e classificadas com a data do depósito do pedido entre 2000 e 2011, período que envolve o início da produção de biodiesel em escala industrial na maioria dos países produtores. Nesse ponto, é possível identificar dentre os maiores produtores de biodiesel na União Europeia que os países com maior nível de atividade inovadora são: Alemanha, França, Espanha, Reino Unido, Itália, Áustria e República Checa.

Por fim, cabe observar, esbarrou-se com a ausência de algumas informações bibliográficas para alguns registros de publicação de pedidos/patentes no *Espacenet*. Também, não foram encontrados alguns dos registros disponibilizados naqueles estudos⁵¹. Para o primeiro caso, optou-se por consultar o instituto nacional onde o documento foi publicado (nem todos institutos apresentavam *site* com opção de idioma em inglês). No caso específico da ausência de informação sobre o nome e a nacionalidade do depositante que representa a origem do documento, optou-se por identificá-los naqueles documentos membros da família.

Além disso, na sequência, deve-se observar que as famílias de patentes são referenciadas apenas como patentes para simplicidade na exposição.

4.2.2. Variáveis Explicativas

Para obter a demanda do mercado em cada país, assim como Johstone, Hascic e Popp (2010), dentre outros; emprega-se a taxa anual (%) de crescimento do consumo

⁵⁰ O país de residência do depositante representa a origem do documento e é identificado, na tese, pelo país do primeiro depositante (muitos documentos apresentam mais de um depositante).

⁵¹ Os números destes registros são apresentados no Quadro A1 do ANEXO.

de biodiesel, $cresCons_{it}$, já que permite captar a expectativa de crescimento futuro do mercado e, dessa forma, a expectativa de retorno da inovação. Evitou-se o uso de uma medida relativa de consumo de biodiesel porque poderia não ser efetiva na sinalização do retorno esperado da inovação conforme a conjuntura econômica do mercado. Por exemplo, embora seja grande o mercado de biodiesel do Brasil, a existência de grande capacidade ociosa pode atuar desestimulando os investimentos em inovação do setor. A taxa de crescimento é calculada aplicando-se a seguinte fórmula padrão a cada mudança

de período: $cresCons_{it} = \frac{V_{if} - V_{is}}{V_{is}} \times 100$ em que V_{if} é o valor final (consumo no ano $t+1$)

e V_{is} é o valor inicial (consumo no ano t) para $\forall t \in [2000, 2011]$ para cada país i ⁵².

Na unidade de (mil) barris ao dia, os dados sobre consumo de biodiesel estão disponíveis no U.S. *Energy Information Administration* (EIA). Em seguida, são transformados para a medida de barris ao ano pela multiplicação de cada valor por 1000 e por 365.

Na ausência de uma medida do preço do diesel convencional que fosse comparável entre os países, utiliza-se o preço do petróleo $Ppetro_{it}$ como sua *proxy*, visto que estão fortemente correlacionados na medida que o diesel é um produto derivado. A série de dados do preço internacional do petróleo é coletada no *International Monetary Fund* (IMF), onde está disponível em dólar por barril (US\$/barril)⁵³. De modo que fosse obtida a necessária variabilidade nos indivíduos do painel (neste caso, países) para adequada execução do método econométrico, pondera-se o preço (100=2005) desta *commodity* por sua taxa de dependência externa que indica o quão vulnerável pode ser um país a uma possível restrição na oferta internacional. Assume-se, portanto, que os efeitos da mudança no preço do petróleo sejam maiores quanto maior a dependência externa. Para deflacionar e obtê-la em valores reais de 2005, utiliza-se o *Consumer Price Index – All Urban Consumers* (CPI), coletado no *United States Department of Labor*. Para que $Ppetro_{it}$ reflita exclusivamente mudanças no preço do petróleo ao longo dos anos em cada país, a taxa de dependência externa de petróleo (peso) é fixada no ano 2000. Essa taxa é obtida pela razão entre o total de petróleo importado e o total

⁵² Na medida em que, para alguns países, o consumo é zero em alguns anos no início do período, empregou-se o artifício matemático de somar uma unidade em todos os valores da amostra para evitar o problema de denominador com valor zero.

⁵³ A série de dados utilizada refere-se ao *Crude Oil (petroleum), Dated Brent, light blend 38 API, fob U.K.*

consumido no ano 2000. Cada série está disponível em (mil) barris⁵⁴ ao dia e são coletadas no U.S *Energy Information Administration* (EIA). Assim sendo, a variável que mensura o preço do petróleo é calculada pela aplicação da seguinte fórmula:

$$P_{petro_{it}} = P_t^{oil} \times \frac{M_{i,2000}^{oil}}{C_{i,2000}^{oil}} \text{ em que } P_t^{oil} \text{ é o preço internacional (100=2005) do petróleo,}$$

$M_{i,2000}^{oil}$ é a quantidade importada e $C_{i,2000}^{oil}$ é a quantidade consumida de petróleo no ano 2000.

Nesse ponto, ratifica-se que $P_{petro_{it}}$ é uma medida adequada para o preço do petróleo ao nível de cada país uma vez que ao observar que a taxa de dependência externa no período da amostra é relativamente constante, fixá-la no primeiro ano da amostra não compromete os resultados apresentados⁵⁵. Para verificar robustez, emprega-se a taxa de dependência externa observada em 2011 e a taxa média do período e obtêm-se resultados semelhantes⁵⁶.

Para mensurar uma das variáveis que representam a política pública é utilizada a participação (%) do gasto bruto em P&D financiado pelo governo em relação ao gasto bruto doméstico total em P&D, $txP \& D_{gov_{it}}$. Os dados sobre o gasto bruto em P&D financiado pelo governo e o gasto bruto doméstico total em P&D, disponíveis em (mil) unidade monetária local, são coletados na *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO). Logo após, calcula-se a taxa (%) do gasto do governo em P&D pela aplicação da seguinte fórmula padrão:

$$txP \& D_{gov_{it}} = \frac{P \& D_{it}^{gov}}{P \& D_{it}^{total}} \times 100 \text{ em que } P \& D_{it}^{gov} \text{ é o gasto bruto em P\&D financiado}$$

pelo governo e $P \& D_{it}^{total}$ é o gasto bruto doméstico total em P&D. Na medida em que dados sobre $P \& D_{it}^{gov}$ da Itália somente estão disponíveis a partir de 2005, o país foi retirado da amostra⁵⁷.

Para mensurar a capacidade tecnológica de inovação em biodiesel de um país, calcula-se o estoque de conhecimento em biodiesel, $E_{i,t-1}$ ⁵⁸, pelo método do inventário

⁵⁴ A medida de 1 barril é equivalente a 158,98 litros aproximadamente.

⁵⁵ A taxa de dependência externa do consumo de petróleo é ilustrada no Gráfico A1 apresentado no APÊNDICE.

⁵⁶ Estes resultados são ilustrados na Tabela A1 do APÊNDICE.

⁵⁷ A produção de biodiesel dos países selecionados que permanecem na amostra representou 64,61% do total produzido pelo Estados europeus em 2011 (EBB, 2013).

⁵⁸ Ao observar a construção desta variável, é importante ressaltar que o uso do subscrito $t-1$ refere-se à nomenclatura apenas. Não se trata de um termo defasado de uma variável E_{it} (que não existe neste modelo).

perpétuo: $E_{i,t-1} = Pat_{i,t-1}^{total} + (1 - \delta)E_{i,t-2}$, em que a taxa de depreciação δ mensura a velocidade com que o conhecimento torna-se obsoleto. O valor de 10%, ou seja, $\delta = 0,10$, é comumente assumido na literatura⁵⁹. Assim, para o ano $t = 2$, por exemplo, o estoque é $E_{i,1}$ e mensura o conhecimento acumulado até o ano $t = 1$, que equivale à soma do total de patentes emitidas em biodiesel no país (por depositante residente ou não) no ano $t = 1$, $Pat_{i,1}^{total}$, à 90% do estoque no ano $t = 0$, $0,9E_{i,0}$.

Nesse método, o estoque no período inicial $E_{i,0}$ é obtido pela seguinte fórmula:

$E_{i,0} = Pat_{i,0}^{total} / (\delta + \bar{g})$ em que $Pat_{i,0}^{total}$ é o total de patentes emitidas no ano 1993 ($t = 0$), $\delta = 0,1$ e $\bar{g} = 0,39$ é a média da taxa anual de crescimento das patentes no período 1986 – 1992. O ano de 1993 é escolhido porque reflete o padrão observado no total de patentes emitidas em cada país durante o período pré amostral 1981 – 1999. A distância entre o ano $t = 0$ escolhido e o período inicial da amostra de fato utilizada tem o objetivo de minimizar o efeito da forma com que $E_{i,0}$ é calculado.

É pertinente mencionar que a opção por uma medida simples de estoque que não é ponderado pelo número de citação das patentes para medir sua qualidade ou valor é decorrente de uma observação destacada em Verdolini e Galeotti (2011). Segundo os mesmos, o registro de citações em cada patente é, de fato, realizado pelo próprio inventor somente naquelas emitidas pelo USPTO, pois é obrigação legal nesse instituto citar o prévio conhecimento que dá suporte ao desenvolvimento da inovação. Nos demais institutos, a citação pode ser incluída pelo examinador do pedido e, até mesmo, pelo representante legal do inventor. Nessa perspectiva, os dados sobre citação podem não ser medida adequada para a qualidade ou valor da inovação e do estoque de conhecimento.

Alguns estudos optam pelo uso de patentes emitidas por algum instituto internacional com o argumento de que essas têm maior qualidade ou valor ao passo que se incorrem em custos mais elevados quando se deposita um pedido internacionalmente. Na tese, essa opção não foi adotada dado que não capturaria aquelas inovações que representam grande avanço para o país. Todavia, por serem específicas às suas características e economia, podem não ser depositadas internacionalmente.

⁵⁹ Ver Verdolini e Galeotti (2011) e Kruze e Wetzel (2015).

Devido à extensão da descrição da elaboração da base de dados, apresentam-se resumidamente as informações sobre a fonte e unidade de medida das variáveis do modelo na Tabela 1 para facilitar sua localização.

Tabela 1– Descrição das variáveis, fonte e unidade de medida

| Variável | Descrição | Unidade | Fonte |
|--------------------|--|---|--------------------------------------|
| Pat_{it} | Patentes relacionadas ao biodiesel | Número de patentes | <i>Espacenet</i> (EPO ¹) |
| $cresCons_{it}$ | Taxa anual de crescimento do consumo de biodiesel | (%) | EIA ² |
| $Ppetro_{it}$ | Preço do Petróleo (ponderado pela taxa de dependência externa de 2000) | US\$/barril | IMF ³ |
| $txP \& Dgov_{it}$ | Participação do gasto bruto em P&D financiado pelo governo no total | (%) | UNESCO ⁴ |
| $E_{i,t-1}$ | Estoque de patentes | Número acumulado de patentes em biodiesel | <i>Espacenet</i> (EPO) |

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ¹*European Patent Office*; ²*Energy Information Administration*; ³*International Monetary Fund*; ⁴*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*.

4.3. Modelo Empírico

Com o suporte da teoria sobre inovação e das evidências empíricas e conhecida a origem e formulação das variáveis é possível detalhar a equação (17) especificando, em (23), a forma funcional do modelo empírico estimado pelo método econométrico apresentado:

$$Pat_{it} = \alpha_i \exp(\beta_1 cresCons_{it} + \beta_2 Ppetro_{it} + \beta_3 txP \& Dgov_{it} + \beta_4 política + \beta_5 E_{i,t-1} + \beta_6 t) + u_{it} \quad (23)$$

em que Pat_{it} é o número de patentes (famílias) no biodiesel depositadas por residente emitidas no país i no ano de depósito do pedido t ; α_i representa características não observadas que são específicas de cada país; $cresCons_{it}$ é taxa anual (%) de crescimento do consumo de biodiesel; $Ppetro_{it}$ é o preço do petróleo (variável *proxy* do preço do diesel); $txP \& Dgov_{it}$ é a participação (%) do gasto bruto em P&D financiado pelo

governo em relação ao gasto bruto doméstico total em P&D; $E_{i,t-1}$ é o estoque de conhecimento, e u_{it} é o termo de erro aleatoriamente distribuído.

Outra forma de capturar o efeito da política pública é pela inserção da variável *política*. Essa é uma variável *dummy* que recebe valor 1 nos anos em que se observa, simultaneamente, a existência de política fiscal (de redução ou isenção tributária e de concessão de subsídio) e de política regulatória (com estabelecimento de metas quantitativas de consumo ou produção). Nos demais anos a variável assume valor 0. Ainda, é incluída, também, a variável tendência temporal t para captar o efeito daqueles fatores não observados que variam somente ao longo do tempo como a instituição de normas no processo de obtenção de patente comuns aos signatários da Convenção de Paris.

Espera-se que todas variáveis explicativas tenham coeficientes β_k com sinal positivo e estatisticamente significativos. Para estimar a equação (23), os estimadores apresentados a linearizam pela aplicação do logaritmo neperiano reportando coeficientes para o seu formato log-linear. Portanto, cada coeficiente β_k estimado mensura a semi-elasticidade, dito de outro modo, o efeito da mudança de uma unidade da variável explicativa sobre as patentes no biodiesel em termos percentuais.

Já o efeito marginal é obtido em (24):

$$EM_{itk} \equiv \frac{\partial E[y_{it}/x_{it}, \alpha_i]}{\partial x_{itk}} = \alpha_i \exp(x_{it}'\beta) \beta_k = \beta_k E[y_{it}/x_{it}, \alpha_i] \quad (24)$$

em que β_k é o coeficiente da k -ésima variável.

5. RESULTADOS

5.1. Patentes

Ao longo dos 12 anos foram emitidas 530 patentes⁶⁰ em 8 países, o que representa uma média anual de aproximadamente 44 patentes no setor. A inovação nos principais países produtores e inovadores durante o período de 2000 a 2011 cresce quase ininterruptamente até 2005 (Gráfico 1), a partir do qual apresenta tendência decrescente e atinge a partir de 2009 um nível de atividade inferior àquele do início do período. Essa tendência poderia ser explicada pela natureza do registro dos dados de patentes executado na tese. É importante recordar que o levantamento de patentes publicadas vai até o ano de 2011 e que foram classificadas segundo a data do pedido. Logo, o menor número observado a partir de 2009 deve-se ao fato de que as patentes que tenham data de requisição do pedido a partir desse mesmo ano tenham sido publicadas depois de 2011, dada a existência de defasagem temporal entre o início e a conclusão do processo de obtenção de patente que pode ultrapassar 2 anos a depender do instituto nacional.

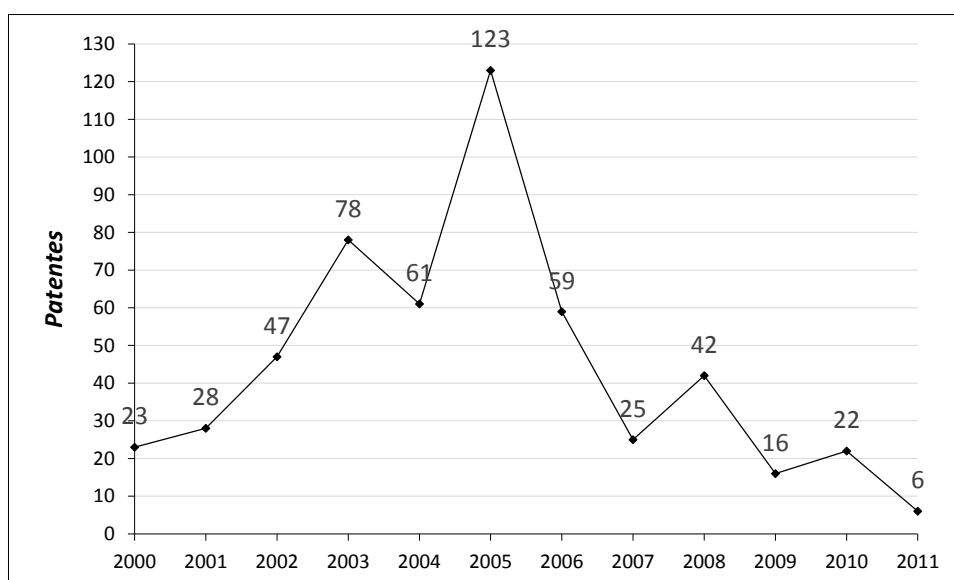


Gráfico 1 – Evolução no total de patentes em biodiesel no total de países da amostra
Fonte: Elaboração própria.

⁶⁰ Cabe reforçar que quando se mencionam as patentes deve-se ter em mente que o termo refere-se à família de patente em biodiesel depositada por residente no país e classificada pela data do depósito do pedido.

Ao passar para o nível da análise de cada país, nota-se grande discrepância na inovação do setor (Gráfico 2), pois enquanto os Estados Unidos foram responsáveis pela emissão de 381 patentes, a soma de patentes no restante dos países equivalia a 149 patentes somente; das quais, 7 é a soma daquelas emitidas por Áustria e República Checa. Observa-se que apenas os Estados Unidos e a Alemanha superam a média de aproximadamente 66 patentes por país neste período.

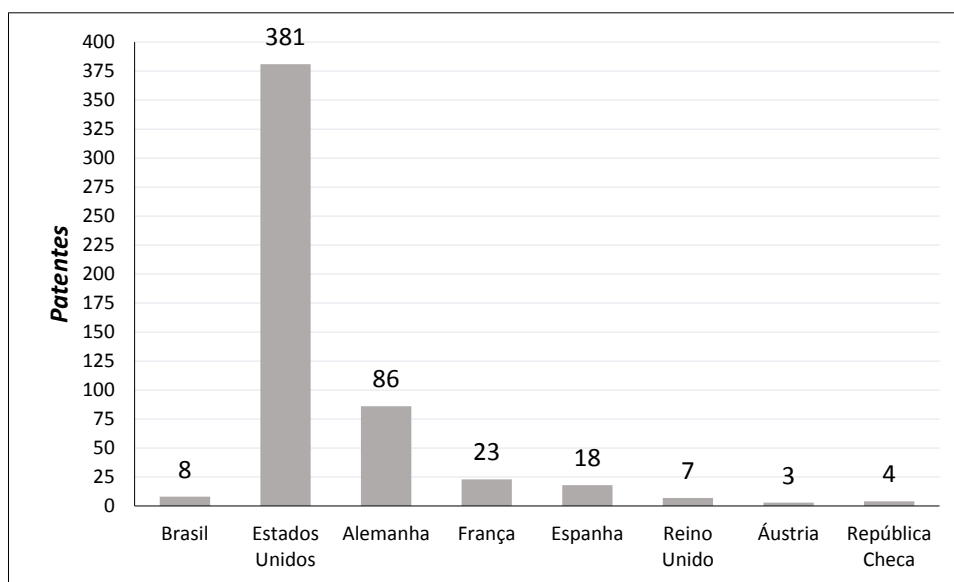


Gráfico 2 – Total de patentes em biodiesel em cada país no período 2000 – 2011
Fonte: Elaboração própria.

Os Estados Unidos, então, são responsáveis por mais de 70% da inovação desenvolvida em biodiesel no período (Gráfico 3) e são seguidos pela Alemanha que, emitindo 86 patentes, contribui em 16% para a inovação no setor de biodiesel. Áustria e República Checa não alcançam 1% do total.

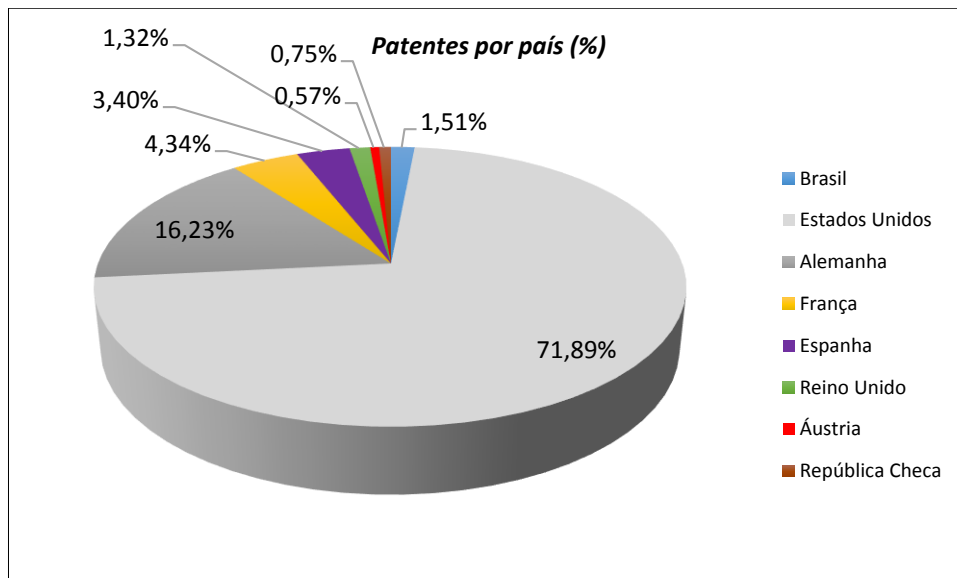


Gráfico 3 – Participação (%) de cada país no total de patentes em biodiesel emitidas no período de 2000 – 2011

Fonte: Elaboração própria.

Notemos que a análise acima é baseada na quantidade absoluta de patentes emitidas. Para averiguar a dimensão da inovação nesse setor dentro de cada país é preciso executar uma análise comparativa que considere o efeito da propensão a patentear de cada país no respectivo setor de biodiesel. Desse modo, é válido analisar a taxa de emissão de patentes em biodiesel em relação ao total de patentes em todas as áreas do conhecimento depositadas por residente que representa o nível de atividade inovadora do país.

Agora, é possível perceber (Gráfico 4) que o Brasil destaca-se como a nação mais intensiva em patentes em biodiesel, haja vista que as mesmas contabilizam 0,25% do total de patentes no país. É seguido por República Checa, Espanha e Alemanha, respectivamente. Deste lado da análise, os Estados Unidos assumem as últimas posições, sendo menos intensivos na inovação em biodiesel, com uma taxa de patentes em biodiesel inferior a 0,05%.

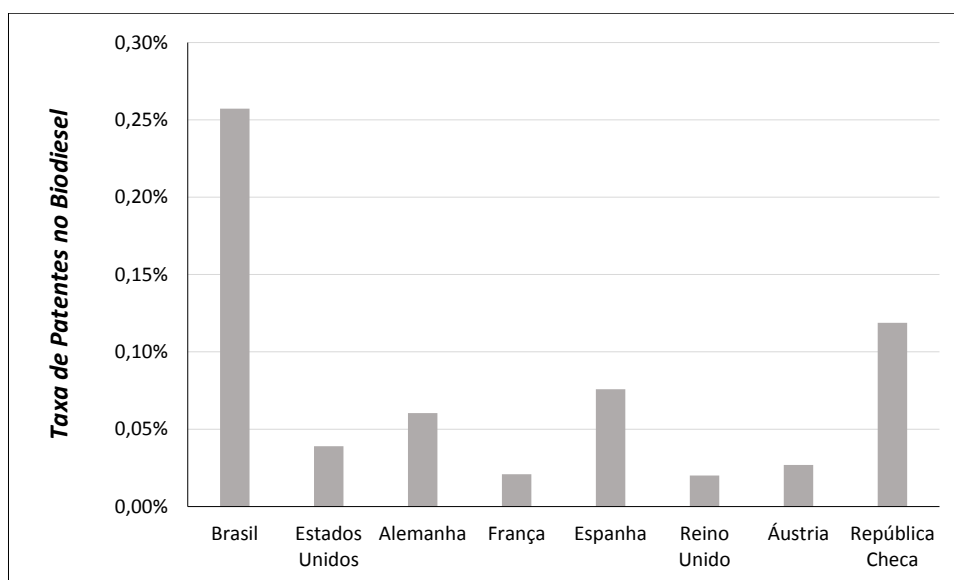


Gráfico 4 – Participação (%) das patentes em biodiesel no total de patentes em todas as áreas do conhecimento depositadas por residente¹ no período de 2000 – 2011²

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ¹Fonte dos dados sobre as patentes em todas as áreas do conhecimento: WIPO *statistics database: 2- Total Patent Grants (direct and PCT national phase entries): Resident non-resident count by filling office*. Disponível em: <http://ipstats.wipo.int/ipstatv2/index.htm?tab=patent> . Versão atualizada em: março/2015. ² Essa taxa é calculada com base em dados sobre o total de patentes e não de famílias de patentes, pois a análise em termos relativos elimina aquele efeito apontado por Johnstone, Hascic e Popp (2010) descrito na subseção Base de Dados.

As patentes emitidas em um país podem ter origem nacional ou estrangeira. Aquelas consideradas nacionais são depositadas no instituto nacional por depositante residente neste país em razão de representarem a atividade inovadora desenvolvida internamente sob os aspectos específicos da economia nacional. Quando se comparam as patentes em biodiesel depositadas por residente no país em relação ao total de patentes em biodiesel (independentemente da nacionalidade do depositante), verifica-se que é alta a inserção estrangeira de patentes em biodiesel na maioria dos países (Gráfico 5), dado que a taxa de patentes nacionais é inferior a 50% para 5 países. No Brasil, do total de patentes em biodiesel, apenas pouco mais de 30% foi depositada por residente no país. Na Áustria este percentual não alcança os 10%. Contrariamente, na Alemanha e França é predominante a inovação em biodiesel desenvolvida por residente no país, em torno de 80% das patentes são nacionais. Em seguida, Estados Unidos apresentam taxa de patentes nacionais superior a 70%.

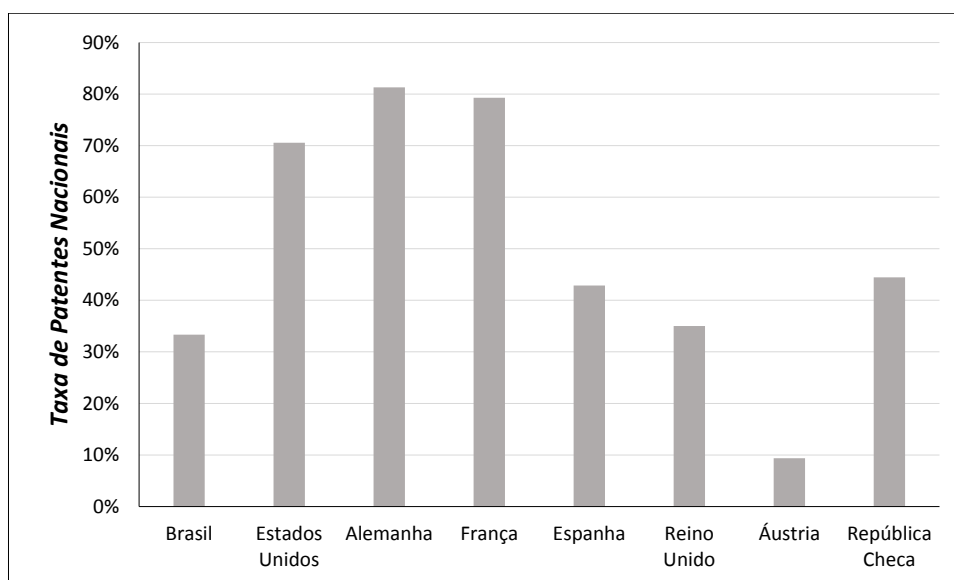


Gráfico 5 – Participação (%) das patentes em biodiesel depositadas por residente no total de patentes em biodiesel no período de 2000 – 2011¹

Fonte: Elaboração própria.

Nota: ¹Essa taxa é calculada com dados sobre o total de patentes e não de famílias de patentes, pois a análise em termos relativos elimina aquele efeito apontado por Johnstone, Hascic e Popp (2010), descrito na subseção Base de Dados.

Na Tabela 2, os dados parecem, a princípio, não refletir o pressuposto de equidispersão apresentado em (8), pois a variância – o quadrado do desvio-padrão, $(13,45)^2$ – é superior à média amostral de 5,52 patentes por país ao ano. Contudo, para a escolha do estimador adequado será executado o teste estatístico proposto em (13). Tal dispersão pode ser entendida quando se verifica a ocorrência de número de patentes emitidas tão distantes da média, visto que enquanto o menor número observado é 0, o valor máximo de 93 patentes é aproximadamente 16 vezes superior à média.

Tabela 2 – Média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo na amostra

| Variável | Observações | Média | Desvio-padrão | Mínimo | Máximo |
|--------------------|-------------|-----------|----------------------|-------------------|----------|
| Pat_{it} | 96 | 5,52 | 13,45 | 0 | 93 |
| $cresCons_{it}$ | 188 | 326170,10 | ² 2607488 | -85,71 | 24300000 |
| $Ppetro_{it}$ | 96 | 33,96 | 18,75 | ³ 5,07 | 83,58 |
| $txP \& Dgov_{it}$ | 96 | 37,97 | 7,76 | 26,24 | 54,84 |
| $E_{i,t-1}$ | 96 | 45,71 | 88,24 | 0,00 | 380,66 |

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ¹Perde-se o primeiro ano da amostra quando se calcula a taxa de crescimento do consumo de biodiesel. ²Tal magnitude deve-se à mudança de consumo zero para algum valor positivo relativamente alto nos primeiros anos da amostra em alguns países. ³Lembremos: tal valor (relativamente baixo) é resultante da ponderação do preço internacional do petróleo pela taxa de dependência externa em cada país.

Nessa tabela são apresentadas, também, estatísticas sobre média, desvio-padrão, valor mínimo e máximo para as variáveis explicativas dos modelos estimados. Primeiramente, o estoque de patentes preserva o padrão constatado na variável dependente. A evolução na taxa anual de crescimento do consumo de biodiesel não cresce de forma linear, nota-se que há anos de queda relativa em decorrência de seu valor mínimo ter coeficiente negativo. Por último, a participação do governo no total dos gastos em P&D é em média 37,97% por país ao ano. Portanto, de forma geral, o setor privado tem sido responsável pela maior parte investida em P&D, visto que mesmo o valor máximo observado no período é pouco superior a 50%.

No intuito de tornar essa análise mais informativa, desagrega-se a exposição das estatísticas ao nível de cada país na Tabela 3. À exceção dos Estados Unidos em pelo menos um ano em cada país não se observa registro de inovação no biodiesel com emissão nula de patentes. Na metade dos países (Brasil, Reino Unido, Áustria e República Checa) a média de patentes emitidas por país ao ano é inferior à unidade.

Pela dimensão das estatísticas sobre a taxa (%) de crescimento do consumo de biodiesel para Brasil, Estados Unidos e Reino Unido, verifica-se que esses países apresentam no mínimo uma observação com valor 0 para o consumo nos primeiros anos da amostra, o que evidencia, portanto, a constituição inicial do mercado de biodiesel com o início da produção e consumo em escala industrial nesses países. Somente no Brasil, o consumo cresce ininterruptamente, pois a taxa de crescimento do consumo é constantemente positiva. Pela magnitude da média do preço do petróleo (ponderado pela taxa de dependência externa em 2000) é possível notar que o preço internacional desta *commodity* tem maior peso nas economias europeias, as quais apresentam maior participação da importação de petróleo no total consumido.

Tabela 3 – Média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo para cada país da amostra

| País | Variável | Média | Desvio-padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------------------|--------------------|--------------|----------------------|---------------|---------------|
| Brasil | Pat_{it} | 0,67 | 0,89 | 0 | 2 |
| | $cresCons_{it}$ | 199319,70 | 660234,10 | 0 | 2190000 |
| | $Ppetro_{it}$ | 10,28 | 4,50 | 5,07 | 18,14 |
| | $txP \& Dgov_{it}$ | 52,57 | 1,60 | 49,73 | 54,84 |
| | $E_{i,t-1}$ | 13,04 | 5,75 | 2,04 | 21,45 |
| Estados Unidos | Pat_{it} | 31,75 | 24,63 | 5 | 93 |
| | $cresCons_{it}$ | 2210645 | 7331616 | -16,30 | 24300000 |
| | $Ppetro_{it}$ | 26,85 | 11,75 | 13,24 | 47,37 |
| | $txP \& Dgov_{it}$ | 30,23 | 1,86 | 26,24 | 32,65 |
| | $E_{i,t-1}$ | 231,04 | 147,76 | 14,29 | 380,66 |
| Alemanha | Pat_{it} | 7,17 | 7,11 | 0 | 20 |
| | $cresCons_{it}$ | 26,43 | 30,79 | -17,19 | 70,73 |
| | $Ppetro_{it}$ | 41,73 | 18,25 | 20,57 | 73,62 |
| | $txP \& Dgov_{it}$ | 29,82 | 1,53 | 27,51 | 31,64 |
| | $E_{i,t-1}$ | 54,17 | 23,09 | 8,16 | 80,68 |
| França | Pat_{it} | 1,92 | 1,98 | 0 | 6 |
| | $cresCons_{it}$ | 23,33 | 37,15 | -11,11 | 89,61 |
| | $Ppetro_{it}$ | 47,37 | 20,72 | 23,36 | 83,58 |
| | $txP \& Dgov_{it}$ | 38,08 | 1,12 | 35,21 | 39,01 |
| | $E_{i,t-1}$ | 12,22 | 8,02 | 0 | 19,66 |
| Espanha | Pat_{it} | 1,50 | 1,51 | 0 | 4 |
| | $cresCons_{it}$ | 57,55 | 118,23 | -62,50 | 391,67 |
| | $Ppetro_{it}$ | 44,56 | 19,49 | 21,97 | 78,62 |
| | $txP \& Dgov_{it}$ | 42,63 | 2,93 | 38,64 | 47,10 |
| | $E_{i,t-1}$ | 19,41 | 6,89 | 2,04 | 24,51 |
| Reino Unido | Pat_{it} | 0,58 | 0,79 | 0 | 2 |
| | $cresCons_{it}$ | 199194,10 | 660275,60 | -11,11 | 2190000 |
| | $Ppetro_{it}$ | 29,56 | 12,93 | 14,57 | 52,15 |
| | $txP \& Dgov_{it}$ | 31,18 | 1,40 | 28,86 | 32,92 |
| | $E_{i,t-1}$ | 6,83 | 4,64 | 0 | 14,58 |

(continua...)

Tabela 3 – Média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo para cada país da amostra (continuação)

| País | Variável | Média | Desvio-padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------------|--------------------|-------|---------------|--------|--------|
| Áustria | Pat_{it} | 0,25 | 0,45 | 0 | 1 |
| | $cresCons_{it}$ | 45,81 | 80,91 | -7,77 | 276,47 |
| | $Ppetro_{it}$ | 34,45 | 15,07 | 16,99 | 60,79 |
| | $txP \& Dgov_{it}$ | 35,31 | 2,34 | 32,25 | 38,67 |
| | $E_{i,t-1}$ | 24,31 | 6,53 | 12,24 | 32,65 |
| República Checa | Pat_{it} | 0,33 | 0,65 | 0 | 2 |
| | $cresCons_{it}$ | 48,74 | 105,01 | -85,71 | 299,99 |
| | $Ppetro_{it}$ | 36,84 | 16,11 | 18,16 | 64,99 |
| | $txP \& Dgov_{it}$ | 43,96 | 1,82 | 41,72 | 47,77 |
| | $E_{i,t-1}$ | 4,70 | 1,16 | 2,04 | 6,03 |

Fonte: Elaboração própria.

Em geral, embora tenha se averiguado que a participação do governo no total gasto em P&D é inferior à participação privada, quando se observa os dados de cada país verifica-se que no Brasil ocorre o inverso, pois a média anual é 52, 57 % e a menor participação constatada nesse período é muito próxima de 50%. Já nos Estados Unidos, Alemanha e Reino Unido, aproximadamente 30% do total gasto em P&D é, em média, financiado pelo governo, sendo predominante o investimento privado.

5.2. Resultado Empírico

Os resultados empíricos do modelo especificado na equação (23) são apresentados na Tabela 4. Primeiramente, efetuou-se a estimação do modelo Poisson com *dummy* de Efeito Fixo que inclui *dummies* de intercepto para captar a heterogeneidade não observada específica de cada país. Posteriormente, aplicou-se o teste de sobredispersão especificado em (13). Após a rejeição da hipótese nula de equidispersão, executou-se a estimação do modelo Poisson Robusto⁶¹ à heterocedasticidade e do modelo Binomial Negativo com *dummy* de Efeito Fixo.

⁶¹Alternativamente, idênticas estimativas obtidas pelo Estimador Condicional de Máxima Verossimilhança (ECMV) do modelo Poisson de Efeito Fixo Robusto são apresentadas na Tabela A2 do APÊNDICE.

Embora o modelo de Poisson com *dummy* de Efeito Fixo apresente significância estatística de todos os coeficientes estimados, seus resultados são não confiáveis considerando que o modelo é caracterizado por sobredispersão na variável dependente e, dessa maneira, têm-se erros-padrão subestimados que podem conduzir a erro na análise baseada no teste-z. A sobredispersão é constatada pela execução do estimador de MQO na equação (13) que, estimando o parâmetro φ significativo a 1%, permite rejeitar a hipótese nula de equidispersão.

Nessa condição, estimam-se os dois modelos alternativos disponíveis para o caso de sobredispersão. Os resultados da versão robusta de Poisson e do Negativo Binomial são muito semelhantes. Em ambos, as variáveis *dummies* indicam que todos os países apresentam nível de inovação inferior àquele observado nos Estados Unidos, corroborando o constatado na análise das estatísticas descritivas dos dados de patente. Relativamente ao modelo Poisson, nota-se que, como esperado, os parâmetros de duas variáveis perderam significância estatística. As variáveis *cresCons_{it}* e *política* que captam respectivamente o efeito direto e indireto da demanda pelo biodiesel na inovação apresentam coeficientes com sinal diferente do pressuposto na teoria.

No entanto, deve-se recordar que o pressuposto de exogeneidade estrita não é atendido nesses modelos estimados, já que a variável estoque contém um termo auto regressivo em sua formulação gerando correlação entre uma variável explicativa e o termo de erro. Nessa prerrogativa, para obtenção de estimativas consistentes do modelo especificado na equação (23), é estimado o modelo Poisson de Efeito Fixo por MMG de dois passos que usa termos defasados da variável como instrumentos na equação em quase-diferença proposta por Chamberlain (1992b). Seus resultados também são apresentados na Tabela 4.

Antes de iniciar a análise dos coeficientes estimados é preciso verificar a validade dos instrumentos pela computação da estatística do teste J de Hansen (1982). Com $\chi^2(1) = 2,0637$ não há evidência para rejeição da hipótese nula de que os instrumentos são válidos a 10% de significância. O modelo é sobreidentificado, pois 1 é a diferença entre o número de instrumentos e parâmetros estimados. Neste caso, por exemplo, $E_{i,t-2}$ e $E_{i,t-3}$ são instrumentos utilizados para a variável de estoque $E_{i,t-1}$.

Tabela 4 – Coeficientes estimados nos modelos Poisson e Binomial Negativo

| Variável | Poisson com dummy de Efeito Fixo ¹ | Poisson com dummy de Efeito Fixo Robusto ¹ | Binomial Negativo com dummy de Efeito Fixo ¹ | Poisson de Efeito Fixo (MMG) | Efeito Marginal |
|------------------------------------|---|---|---|------------------------------|-----------------|
| <i>cresCons_{it}</i> | -3,03e-08** ³ (1,30e-08) | -3,03e-08*** (5,92e-09) | -3,29e-08*** (7,58e-09) | 8,46e-07*** (2,12e-07) | 4,67e-06 |
| <i>Ppetro_{it}</i> | 0,0379*** (0,0099) | 0,0379 ^{NS} (0,0251) | 0,0243 ^{NS} (0,0148) | 0,0805 *** (0,0246) | 0,4446 |
| <i>txP & Dgov_{it}</i> | 0,2285*** (0,0463) | 0,2285** (0,1024) | 0,1809*** (0,0452) | 0,3483*** (0,1304) | 1,9231 |
| <i>política</i> | -1,0434*** (0,2042) | -1,0434*** (0,3093) | -0,9220** (0,4497) | 0,9901* (0,5092) | 5,4659 |
| <i>E_{i,t-1}</i> | 0,0020*** (0,0008) | 0,0020*** (0,0007) | 0,0020* (0,0012) | 0,0055*** (0,0005) | 0,0301 |
| <i>t</i> | -0,2537*** (0,0651) | -0,2537* (0,1452) | -0,2135*** (0,0781) | -0,8175*** (0,0513) | -4,5134 |
| ² Constante | -2,9748** (1,4506) | -2,9748 ^{NS} (3,0442) | -1,4747 ^{NS} (1,2812) | - | - |
| <i>dBrasil</i> | -8,4127*** (1,0834) | -8,4127*** (2,0739) | -7,4116*** (0,9825) | - | - |
| <i>dAlemanha</i> | -1,6598*** (0,1958) | -1,6598*** (0,2575) | -1,5076*** (0,2560) | - | - |
| <i>dFrança</i> | -4,7649*** (0,5007) | -4,7649*** (1,1874) | -4,1690*** (0,5699) | - | - |
| <i>dEspanha</i> | -6,2934*** (0,7508) | -6,2934*** (1,7326) | -5,3068*** (0,7077) | - | - |
| <i>dReino Unido</i> | -4,0757*** (0,4414) | -4,0757*** (0,1142) | -3,9335*** (0,2280) | - | - |
| <i>dÁustria</i> | -6,1440*** (0,7672) | -6,1440*** (0,7399) | -5,7503*** (0,4114) | - | - |
| <i>dRepública Tcheca</i> | -7,5180*** (0,8239) | -7,5180*** (1,5342) | -6,6944*** (0,7065) | - | - |
| ⁴ φ | 0,9999*** (0,0011) | - | - | - | - |
| ⁵ χ ² (1) | - | - | - | 2,3322 | - |
| Valor-p | - | - | - | 0,1267 | - |

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ¹São inseridas *dummies* de intercepto para captar o efeito fixo de país, *dpaís*. ²O valor da *constante* representa o país de referência: Estados Unidos. ³Valores entre parênteses são os erros-padrão. ***Coeficiente significativo a 1%. **Coeficiente significativo a 5%. *Coeficiente significativo a 10%. ^{NS}Coeficiente não significativo a 10%. ⁴Parâmetro obtido na equação (13) do teste de sobredispersão. ⁵Estatística do teste J de Hansen de sobreidentificação.

Pode-se analisar que todas as variáveis têm coeficientes estatisticamente diferentes de zero representando, portanto, fatores que determinam a inovação no biodiesel. O coeficiente negativo da variável *t* ratifica a existência de tendência decrescente na emissão de patentes com o passar do tempo, conforme já observada e explicada no Gráfico 1. Todas as demais variáveis explicativas exercem influência

positiva sobre a inovação como pressupõe a teoria. Mais diretamente, ratifica-se que a taxa de crescimento do consumo de biodiesel e o estoque de conhecimento atuam como fatores *demand-pull* e *technology-push*, respectivamente.

Quando a política pública (políticas regulatória e fiscal, simultaneamente) é introduzida no mercado de biodiesel, verifica-se aumento de aproximadamente 1%, em média, na emissão de patentes *ceteris paribus*. Ambas políticas atuam como determinantes *demand-pull*, na medida em que asseguram, respectivamente, demanda ao produtor pelo estabelecimento de meta de consumo ou produção e reduzem custos de produção pela redução tributária e concessão de subsídios. Já a política governamental de investimento em P&D é um determinante do tipo *technology-push*, pois aumenta a capacidade tecnológica nacional, da qual o setor de biodiesel pode se beneficiar. Constata-se que o aumento de 1 unidade percentual da participação governamental no total bruto investido em P&D é acompanhado, em média, pelo aumento de 0,35% no total de patentes emitidas, *ceteris paribus*.

Fornecendo evidência à teoria da inovação induzida, percebe-se que o aumento de um dólar no preço do barril de petróleo é acompanhado pelo aumento de aproximadamente 0,08% no total de patentes em biodiesel. Ou seja, com a tendência de aumento relativo no preço do petróleo investe-se no biodiesel como uma tecnologia alternativa no sentido de tornar-se menos intensivo em petróleo, o que reduz custos de produção.

Para obtenção do efeito marginal de cada variável sobre o número de patentes, multiplica-se cada coeficiente β_k estimado por 5,52, valor estimado da média condicional de patentes emitidas por país ao ano. Quando a análise é realizada em termos de efeito marginal, pode-se dizer que a introdução da política pública no mercado de biodiesel aumenta pouco mais de 5 unidades, em média, o total de patentes emitidas *ceteris paribus*. O aumento em uma unidade percentual da participação governamental no total bruto investido em P&D é acompanhado pelo aumento de aproximadamente 1,92 patentes emitidas. Por fim, o aumento de um dólar no preço do barril de petróleo é acompanhado pelo aumento de 0,44 patentes em biodiesel.

Confirma-se, portanto, a hipótese postulada de que os fatores de mercado e a política pública atuam como determinantes da inovação no biodiesel no Brasil, Estados Unidos e principais países produtores e da União Europeia.

Em relação à literatura empírica apresentada, pode-se observar que o resultado alcançado para o efeito do preço petróleo converge com aqueles encontrados nos estudos de Karmarkar-Deshmukh e Pray (2009), Jang e Du (2013) e Lanzi, Hascic e

Johnstone (2012) para o etanol e outras energias renováveis, em que o preço do combustível fóssil exerce influência positiva no que diz respeito à inovação nessas tecnologias alternativas. Em Jang e Du (2013) e Kruse e Wetzell (2015) é verificado, também, efeito positivo dos gastos em P&D sobre a inovação em biocombustíveis. Diferentemente do constatado aqui, os dois primeiros estudos não encontraram qualquer efeito da política pública sobre a inovação. Já em Verdolini e Galeotti (2011) e Brunnermeier e Cohen (2003), observa-se que a existência de política pública também exerce efeito positivo na inovação em tecnologias relacionadas à energia e ao meio-ambiente, respectivamente.

6. CONCLUSÕES

Para promover o crescimento sustentável das economias, demandas internacionais relacionadas à mitigação do processo de mudanças climáticas e problemas ambientais ligados ao aquecimento global, somam-se às tradicionais preocupações das nações em garantir segurança energética frente à tendência crescente no preço do petróleo e episódios de restrição de sua oferta. Neste contexto, onde o setor de transportes assume o segundo lugar entre os líderes em emissões de GEE, o estímulo ao desenvolvimento e produção dos biocombustíveis por meio de programas e políticas governamentais tem se tornado estratégico para aumentar o emprego da energia renovável diversificando a matriz energética. Enquanto o diesel é o principal combustível fóssil derivado do petróleo consumido neste setor, o biodiesel apresenta-se como uma alternativa efetiva para a sua substituição parcial e diminuição das emissões de GEE. Nesse sentido, buscou-se investigar como as políticas públicas e a tendência crescente no preço do combustível fóssil atuam no desenvolvimento da inovação no setor de biodiesel nos principais países produtores da União Europeia, Estados Unidos e Brasil.

Com o suporte da teoria da inovação induzida e por métodos econométricos apropriados para lidar com dados do tipo contagem e com a endogeneidade, confirmou-se a hipótese de que os fatores de mercado e as políticas públicas afetam positivamente a inovação no biodiesel. Logo o aumento no preço do petróleo induz inovação no biodiesel à proporção que se busca minimizar custos pelo desenvolvimento e emprego de tecnologias alternativas. A presença de metas quantitativas de produção ou consumo de biodiesel simultânea à existência de isenções tributárias e/ou concessão de subsídios também exerce efeito positivo sobre a inovação em biodiesel haja vista que, enquanto a política regulatória assegura demanda em certo grau, a política fiscal diminui custos do biodiesel tornando-o relativamente mais barato. A política governamental de investimento em P&D também contribui para aumentar a inovação no biodiesel por aumentar a capacidade tecnológica nacional disponível a esse setor.

Deste modo, conclui-se que os objetivos nacionais em garantir segurança energética e mitigar o aquecimento global pela diversificação da matriz energética, com o crescimento da produção e consumo de energias renováveis, juntamente com a tendência de elevação no preço do petróleo têm constituído, efetivamente, importantes

fatores no desenvolvimento tecnológico do incipiente setor de biodiesel dos maiores países produtores. Portanto, em momentos de alta na oferta de combustíveis fósseis e queda relativa de seu preço, o investimento público em P&D e a adoção de políticas podem ser fatores importantes para o contínuo desenvolvimento estratégico da inovação no biodiesel e manutenção do compromisso de aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética.

Uma limitação que poderia ser apontada refere-se à inexistência de uma medida confiável que pondere as patentes e, conseqüentemente, o estoque de patentes por qualidade ou importância à geração de conhecimento. Sendo, assim, utilizada uma medida simples nesta tese.

REFERÊNCIAS

AETS – Agency for Healthcare Technology Assessment. **Assessing the impact of biofuels production on developing countries from the point of view of policy coherence for development**. Final Report, 2013.

AHMAD, S. On the Theory of Induced Innovation. **The Economics Journal**, v.76, n.302, p.344–357, 1966.

ANP – Agência Nacional de Petróleo. Anuário e Dados Estatísticos: Dados Estatísticos Mensais: Produção de Biodiesel. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=64555&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1387746069494> . Acesso em: dezembro/2013.

BEN – **Balanco Energético Nacional/Ano base 2012**. Relatório Final, 2013.

British Petroleum – BP. **Statistical Review of World Energy June 2013**. Disponível em: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013.html> .

BRUNNERMEIER, S.B.; COHEN, M.A. Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.45, p.278–293, 2003.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics using Stata**. Stata Press, Texas, 2009.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Count Panel Data**. In: BALTAGI, B. H. The Oxford Handbook of Panel Data Econometrics. Oxford University Press, New York, 2015.

CARVALHO, C. H. R. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. **Texto para Discussão 1606**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2011.

CHAMBERLAIN, G. Comment: Sequential Moment Restrictions in Panel Data. **Journal of Business and Economic Statistics**, v.10, p.20–26, 1992b.

COHEN, W. M.; LEVIN, R.C. **Empirical studies of innovation and market structure**. In Handbook of Industrial Organization, ed. R. Schmalansee, R.D. Willing (eds), p.1059–1107. Elsevier Publishers, 1989.

COHEN, W. M.; LEVINHAL, D. A. Innovation and learning: The two faces of R&D. **The Economic Journal**, v.99, n.397, p.569–596, 1989.

COSTA, A. B. Teoria econômica e política de inovação. **Revista de Economia Contemporânea**, v.20, n.2, p.281-307, 2016.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v.11, n.3, p.147-162, 1982.

EBB – European Biodiesel Board/Statistics: **2011 Production by country**. Disponível em: <http://www.ebb-eu.org/stats.php> . Acesso em: outubro/2013.

EC – European Commission. **Renewable energy progress and biofuels sustainability. Report**, September/ 2012.

EIA – Energy Information Administration/DOE – Department of Energy. **Monthly Energy Review**. Washington, August/2012a.

EIA – Energy Information Administration/DOE – Department of Energy. **Biofuels issues and trends**. Washington, October/2012b.

EIA – Energy Information Administration/DOE – Department of Energy. **Monthly Energy Review**. Washington, November/2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Contexto mundial e preço do petróleo: uma visão de longo prazo**, 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis/Ano base 2012**, 2013.

EU – European Union. **Transport in figures**. Statistical Pocketbook, 2012.

Eurostat. Database. Environmental and Energy. Energy: Energy Statistics - quantities, annual data: Primary production of renewable energy by type. Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/database> . Acesso em: setembro/2013.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of food and agriculture**. Roma, 2008.

Federal Office for Agriculture and Food. Evaluation and Progress Report 2013: **Biomass Electricity Sustainability Ordinance and Biofuel Sustainability Ordinance**. Bonn, October/2014.

FELLNER, W. Two Propositions in the Theory of Induced Innovations, **Economic Journal**, v.71, n.282, p. 305–308, 1961.

FELLNER, W. Does the Market Direct the Relative Factor-Saving Effects of Technological Progress?, *in*: Nelson, R. R.(ed.), **The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors**, Princeton: Princeton University Press, 1962.

FREITAS, L. C.; KANEKO, S. Is there a causal relation between ethanol innovation and the market characteristics of fuels in Brazil? **Ecological Economics**, v.74, p.161–168, 2012.

GENTNER, D. R.; ISAACMAN, G.; WORTON, D. R.; CHAN, A. W. H.; DALLMANN, T. R.; DAVIS, L.; LIU, S.; DAY, D. A.; RUSSELL, L. M.; WILSON, R. W.; WEBER, R.; GUHA, A.; HARLEY, R. A. GOLDSTEIN, A. H. Elucidating secondary organic aerosol from diesel and gasoline vehicles through detailed characterization of organic carbon emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of United States of America – PNAS**, v.109, n.45, 2012.

GODIN, B. Science, accounting and statistics: The input–output framework. **Research Policy**, v.36, p.1388–1403, 2007.

GRILICHES, Z. Patent statistics as economic indicator: a survey. **Journal of Economic Literature**, v.28, n.4, p.1661–1707, 1990.

HANSEN, L.P. Large Sample Properties of Generalized Method of Moments Estimators. **Econometrica**, v.50, p.1029–1054, 1982.

HAUSMAN, J.A.; HALL, B.H.; GRILICHES, Z. Econometric Models for Count Data with an Application to the Patents-R&D Relationship. **Econometrica**, v.52, p.909–938, 1984.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V.W. **Agricultural Development: An International Perspective**. Rev. ed. Baltimore, Md.: John Hopkins University Press, 1985.

HICKS, J. **The theory of wages**. Macmillan, London, 1932.

HLPE – High Level Panel of Experts. **Biofuels and food security**. Report on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome, 2013.

IEEP – Institute for European Environmental Policy. Biofuels provisions in the renewable energy directive – A summary. **EU Environmental Policy Briefing**, February/2008.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Mapeamento Tecnológico do Biodiesel e Tecnologias Correlatas Sob o Enfoque dos Pedidos de Patentes: Volume II – Brasil**. Maio/2008.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Mapeamento Tecnológico do Biodiesel e Tecnologias Correlatas Sob o Enfoque dos Pedidos de Patentes:** Volume III – Pedidos de Patentes em Biodiesel Depositados nos Estados Unidos, China e União Europeia. Setembro/2008.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pedidos de Patentes sobre o Biodiesel:** Pedidos Publicados no 1º Semestre de 2008. In: Alerta Tecnológico, dezembro/2008.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pedidos de Patentes sobre o Biodiesel:** Pedidos Publicados no 2º Semestre de 2008. In: Alerta Tecnológico, n.2, junho/2009.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pedidos de Patentes com Tecnologias Relativas a Biodiesel:** Pedidos Publicados no 1º Semestre de 2009. In: Alerta Tecnológico, n.17, dezembro/2009.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pedidos de Patentes com Tecnologias Relativas a Biodiesel:** Pedidos Publicados no 2º Semestre de 2009. In: Alerta Tecnológico, n.26, junho/2010.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pedidos de Patentes com Tecnologias Relativas a Biodiesel:** Pedidos Publicados no 1º Semestre de 2010. In: Alerta Tecnológico, n.36, dezembro/2010.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pedidos de Patentes com Tecnologias Relativas a Biodiesel:** Pedidos Publicados no 2º Semestre de 2010. In: Alerta Tecnológico, n.47, junho/2011.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pedidos de Patentes com Tecnologias Relativas a Biodiesel:** Pedidos Publicados no 1º Semestre de 2011. In: Alerta Tecnológico, n.58, dezembro/2011.

INPI – Instituto Nacional de Propriedade Industrial. **Pedidos de Patentes com Tecnologias Relativas a Biodiesel:** Pedidos Publicados no 2º Semestre de 2011 – n.8. In: Alerta Tecnológico, n.73, junho/2012.

International Monetary Fund – IMF. eLibrary Data. Time series. Disponível em: <http://data.imf.org/?sk=7CB6619C-CF87-48DC-9443-2973E161ABEB&ss=1393468009141> . Acesso em: setembro/2015.

JAFFE, A.; PALMER, K. Environmental regulation and innovation: a panel data study. **Review of Economics and Statistics**, v.79, n.4, p. 610–619, 1997.

JANG, H.; DU, X. Price- and Policy-Induced Innovations: The Case of U.S. Biofuel. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v.38, n.3, p.299–311, 2013.

JOHNSTON M.; FOLEY J. A.; HOLLOWAY T.; KUCHARIK C.; MONFREDA C. Resetting global expectations from agricultural biofuels. **Environmental Research Letters**, v. 4, 2009.

JOHNSTONE, N.; HAŠČIČ, I.; POPP, D. Renewable energy policies and technological innovation: evidence based on patent counts. **Environmental and Resource Economics**, v.45, p.133–155, 2010.

KARMAKAR-DESHMUKH, R.; PRAY, C. E. Private Sector Innovation in Biofuels in the United States: Induced by Prices or Policies? **AgBioForum**, v.12, n.1, p.141–148, 2009.

KENNEDY, C. Induced Bias in Innovation and the Theory of Distribution, **The Economic Journal**, v.74, n. 295, p. 541–547, 1964.

KRUSE, J.; WETZEL, H. Energy Prices, Technological Knowledge, and Innovation in Green Energy Technologies: a Dynamic Panel Analysis of European Patent Data. **CESifo Economic Studies**, p.1–29, 2015.

LANJOUW, J. O.; MODY, A. Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology. **Research Policy**, v.25, n.4, p.549–571, 1996.

LANZI, E.; HAŠČIČ I.; JOHNSTONE N. The Determinants of Invention in Electricity Generation Technologies: A Patent Data Analysis. **OECD Environment Papers**, n. 45, 2012.

LICHTENBERG, F.R. Energy prices and induced innovation. **Research Policy**, v.15, p. 67–75, 1986.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário. Disponível em: <http://portal.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel/2286217> . Acesso em: novembro/2013.

MONDOU, M.; SKOGSTAD, G. The regulation of biofuels in the United States, European Union and Canada. **CAIRIN: An Erca Research Network**, University of Toronto, 2012.

MOWERY, D.; ROSENBERG, N. The influence of market demand upon innovation: a critical review of some recent empirical studies. **Research Policy**, v.8, n.2, p.102-153, 1979.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development/IEA – International Energy Agency. **CO2 emissions from fuel combustion**. Paris, 2012.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development/IEA – International Energy Agency. **Key world energy statistics**. Paris, 2013.

POPP, D. Induced innovation and energy prices. **The American Economic Review**, v.92, n.1, p.160–180, 2002.

POPP, D. International innovation and diffusion of air pollution control technologies: the effects of NOX and SO2 regulation in the U.S., Japan, and Germany. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.51, n.1, p.46–71, 2006.

ROSENBERG, N. The direction of technological change: Inducement mechanisms and focusing devices. **Economic Development and Cultural Change**, v.18, n.1, p.1-24, 1969.

ROSENBERG, N. Science, Invention and Economic Growth. **The Economic Journal**, v. 84, n. 333, p.90-108, 1974.

ROUBINI, N.; SETSER, B. The effects of the recent oil price shock on the U.S. and global economy. **Draft: University College**, Oxford, August/2004.

SALTER, W. E. G. **Productivity and Technical Change**, Cambridge: University Press, 1960.

SCHERER, F. M. Demand-Pull and Technological Invention: Schmoockler Revisited. **The Journal of Industrial Economics**, v.30, n.3, p.225–237, 1982.

SCHMOOKLER J. **Invention and economic growth**. Harvard University Press, Cambridge (MA), 1966.

SCHUMPETER J.A. **Business Cycles: A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process**. McGraw-Hill, New York and London, 1939.

U.S. Energy Information Administration – EIA. Independent Statistics & Analysis. International Energy Statistics: Renewables. Disponível em: <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=79&pid=79&aid=2> . Acesso em: novembro/2015.

U.S. Energy Information Administration – EIA. Independent Statistics & Analysis. International Energy Statistics: Petroleum. Disponível em: <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=5&pid=54&aid=3> . Acesso em: novembro/2015.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO. Institute for Statistics. Data centre. UIS.Stat: Science, Technology and Innovation. Disponível em: <http://data.uis.unesco.org/> . Acesso em: novembro/2015.

United States Department of Labor. Bureau of Labor Statistics. Data Tools. Top Picks: All Urban Consumers – CPI: U.S. All items, 1982-84=100 – CUUR0000SA0. Disponível em: <http://data.bls.gov/cgi-bin/surveymost?cu> . Acesso em: novembro/2015.

USDA – United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service (FAS): **Oilseeds: World Markets and Trade**, September/2013.

USUI, N. Induced Innovation Theory and International Agricultural Development: A Reassessment. Rev.ed. by Bruce Koppel, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1995. **The Developing Economies Book Reviews**, v.33, n.3, 1995.

VERDOLINI, E.; GALEOTTI, M. At home and abroad: an empirical analysis of innovation and diffusion in energy technologies. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.61, p.119–134, 2011.

WIPO – World Intellectual Property Organization. **Terms and abbreviations**. In: Handbook on industrial property information and documentation, p.8.1.1–8.1.41, 2013.

ANEXO

Quadro A1 – Classificação das patentes relacionadas ao biodiesel

| Classificação | Descrição |
|--|---|
| Produção de biodiesel | Engloba pedidos de patente que se referem aos processos de produção de biodiesel em geral |
| Composição | Engloba pedidos de patente que descrevem o uso do biodiesel em composição com outros compostos, como por exemplo, documentos relativos a aditivos específicos para biodiesel ou aditivos para combustíveis em geral que podem ser utilizados em biodiesel, entre outros tipos de composição como pedidos de patente referente à composições contendo combustíveis em geral, entre eles o biodiesel |
| Setor Automotivo | É composto principalmente por desenvolvimentos relacionados a motores para veículos que usam biodiesel, diesel ou a mistura de ambos. Também estão incluídos nesse grupo motores não veiculares. Cabe ressaltar que foi observado no setor ora considerado que os desenvolvimentos tecnológicos que geraram pedidos de patente, não são específicos para motores que funcionem somente com biodiesel, já que os mesmos são originalmente projetados para utilizar óleo diesel, tendo o biodiesel como alternativa. Essa classe engloba motores, bombas de combustível, filtros, sensores, dentre outros |
| Biodiesel - outros usos | Os pedidos de patente nesse setor são referentes àqueles que citam o uso de biodiesel para outros fins que não são combustíveis |
| Matéria Prima | Engloba os pedidos relacionados a matérias primas utilizadas na produção de biodiesel. Essa classe engloba, por exemplo, sementes modificadas para obtenção de soja utilizada na produção de biodiesel, processamento de milho ou sementes de girassol para uso na produção de biodiesel, tratamento do ácido graxo a ser utilizado na produção de biodiesel entre outros |
| Uso dos subprodutos | Esse setor engloba pedidos de patente que se referem à produção de outros insumos utilizando-se os subprodutos da produção de biodiesel, como, por exemplo, uma composição herbicida que utiliza o glicerol proveniente da produção de biodiesel. Outro exemplo é a produção de ácido acrílico utilizando glicerol proveniente do processo de fabricação do biodiesel |
| Produção de biodiesel - catalisadores ou enzimas | Esse setor refere-se a pedidos de patente sobre a produção de catalisadores ou produção de enzimas que podem ser utilizados no processo de fabricação de biodiesel |
| Outros | Engloba os pedidos de patente que não estão nos setores anteriores, como os pedidos sobre métodos de análise de biodiesel ou de marcadores de combustíveis que podem ser utilizados em biodiesel |

Fonte: INPI, maio/2008.

Quadro A2 – Registros que não foram encontrados na busca por patente na tese

| | | |
|-------------|-------------|--------------|
| DE10293630D | DE59811972D | DE59812723D |
| DE10393708D | DE60218677D | DE50112468D |
| DE3573131D | DE69110036D | DE50203532D |
| DE3660766D | DE50007569D | DE59600596D |
| DE3661192D | DE50012237D | DK771599T |
| DE50003549D | DE59106692D | DK900822T |
| DE50006589D | DE59807089D | DE59804844D |
| DE50103259D | DE59810929D | DK523767T |
| DE50103724D | DE69815447D | DK562504T |
| DE50112634D | DE69831261D | DK855436T |
| DE50201102D | DK635558T | DK931051T |
| DE50307153D | DK775185T | SK 200000772 |
| DE58904306D | DE10190350D | |
| DE59204655D | DE10390808D | |
| DE59208211D | DE50012598D | |
| DE59300838D | DE50105819D | |
| DE59401356D | DE50200261D | |
| DE59409130D | DE69405895D | |
| DE59700863D | DE69804541D | |
| DE59804365D | DK953105T | |

Fonte: INPI, setembro/2008.

APÊNDICE

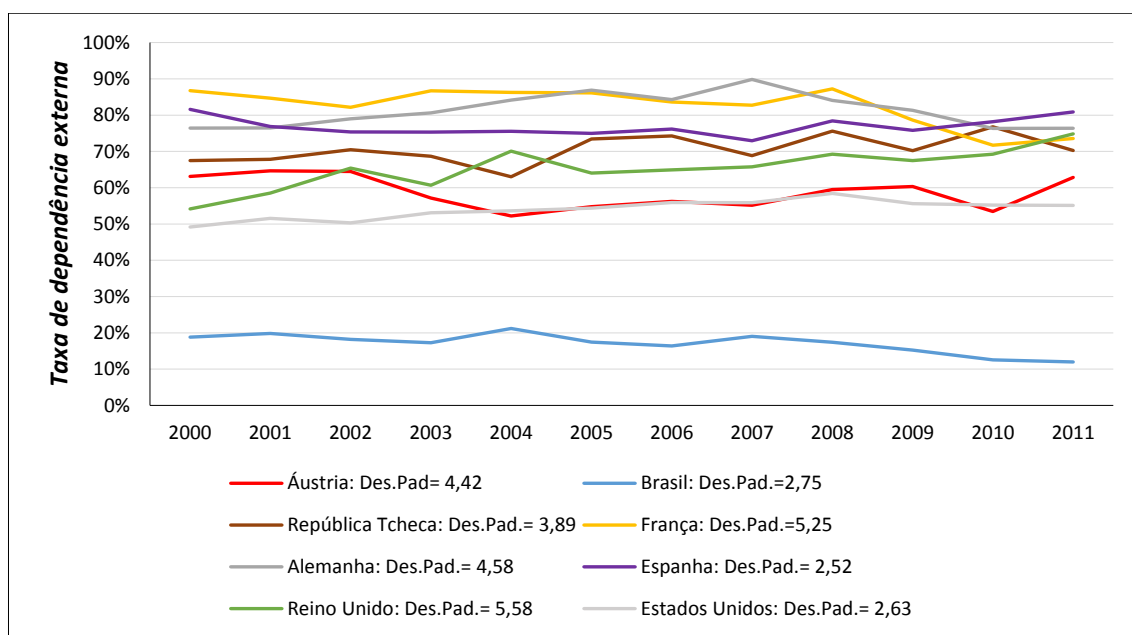


Gráfico A1 – Taxa de dependência externa do petróleo e Desvio-Padrão para cada país
Fonte: Elaboração própria.

Tabela A1 – Coeficientes estimados do modelo **Poisson de Efeito Fixo (MMG)** com alternativas ponderações do preço internacional do petróleo

| Variável | Poisson de Efeito Fixo (MMG) – com preço do petróleo ponderado pela taxa de dependência externa do ano 2011 | Poisson de Efeito Fixo (MMG) – com preço do petróleo ponderado pela taxa de dependência externa média de 2000 a 2011 |
|--------------------|---|--|
| $cresCons_{it}$ | 1,09e-06*** ¹ (4,13e-07) | 9,42e-07*** (2,53e-07) |
| $Ppetro_{it}$ | 0,1036*** (0,0360) | 0,0847*** (0,0247) |
| $txP \& Dgov_{it}$ | 0,4797* (0,2500) | 0,3990*** (0,1538) |
| $política$ | 1,9484** (0,7849) | 1,0576* (0,5504) |
| $E_{i,t-1}$ | 0,0040*** (0,0007) | 0,0051*** (0,0005) |
| t | -0,8187*** (0,0463) | -0,8265*** (0,0474) |

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ¹Valores entre parênteses são os erros-padrão. ***Coeficiente significativo a 1%. **Coeficiente significativo a 5%. *Coeficiente significativo a 10%.

Tabela A2 – Coeficientes estimados no modelo Poisson de Efeito Fixo Robusto

| Variável | Poisson de Efeito Fixo Robusto |
|--------------------|---|
| $cresCons_{it}$ | -3,03e-08*** ¹ (5,54e-09) |
| $Ppetro_{it}$ | 0,0379 ^{NS} (0,0235) |
| $txP \& Dgov_{it}$ | 0,2285** (0,0958) |
| $política$ | -1,0434*** (0,2894) |
| $E_{i,t-1}$ | 0,0020*** (0,0007) |
| t | -0,2537* (0,1358) |

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ¹Valores entre parênteses são os erros-padrão.
 ***Coeficiente significativo a 1%. **Coeficiente significativo a 5%. *Coeficiente significativo a 10%.
^{NS}Coeficiente não significativo a 10%.