



ENEI

Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação

FACE-UFMG

Inovação, Sustentabilidade e Pandemia

10 a 14 de maio de 2021

Inovação no setor de biodiesel dos principais países produtores: o papel da demanda induzida entre 2000 e 2011

Lora dos Anjos Rodrigues (Universidade Federal de Alfenas – Unifal-MG);

José Gustavo Féres (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA);

resumo:

Objetiva-se investigar se a tendência de alta no preço do petróleo e as políticas públicas regulatória e fiscal afetam a inovação no setor de biodiesel. Também, se há influência da proporção do gasto do governo em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Para mensurar inovação, empregam-se dados de patentes em biodiesel depositadas (por residentes) no Brasil, Estados Unidos, Alemanha, França, Espanha, Reino Unido, Áustria e República Checa de 2000 a 2011. Aplica-se o estimador de Método dos Momentos Generalizados (MMG) para o modelo de Poisson em painel de Efeito Fixo. Os resultados indicam que o preço do petróleo e a existência de política regulatória e fiscal são fatores demand-pull, que estimulam a inovação por aumentar sua demanda e expectativa de retorno. Já o investimento governamental em P&D constitui fator technology-push, que afeta a inovação pelo lado da oferta, pois aumenta a capacidade tecnológica da qual o setor de biodiesel se beneficia.

palavras-chave: Biodiesel; Inovação; Preço do petróleo; Políticas públicas.

Código JEL: Q41, Q42, Q48, Q55, Q58.

Área Temática: Inovação, desenvolvimento e sustentabilidade

1. Introdução

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). 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, entre outros. Visto 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 dentre outros mecanismos de suporte. As ações dos governos nacionais também têm sido motivadas por tradicionais preocupações relacionadas à segurança energética e à tendência de alta no preço do petróleo visando reduzir a dependência de fontes não renováveis.

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)*. Somente em 2009, as metas tornaram-se obrigatórias para os biocombustíveis e outras energias renováveis pela aprovação da *Directive on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources (2009 Renewable Energy Directive – RED)*. 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 setor¹. Nos Estados Unidos, em 2007, o *Energy Independence and Security Act (EISA)* definiu o novo *Renewable Fuels Standard (RFS II)* estabelecendo que a produção anual de biocombustíveis teria que alcançar 36 bilhões de galões até 2022, dos quais 21 bilhões deveriam ser de biocombustíveis avançados². No Brasil, embora o consumo de biocombustíveis seja incentivado desde a primeira crise do petróleo quando o governo instituiu o Proálcool em 1975, apenas em 2005, o biodiesel foi introduzido na matriz energética do país com a instituição do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)³ que 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. Atualmente, vigora o B13.

Embora a produção de biodiesel seja relativamente inferior à de etanol no Brasil e Estados Unidos, há um crescimento da mesma e os Estados Unidos são o maior país produtor, seguido pela Argentina e Brasil (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2013). A principal matéria-prima empregada em ambos países é o óleo de soja⁴, enquanto na União Europeia, é o óleo de canola. O bloco constitui-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 produção do biodiesel em escala industrial é relativamente recente (início dos anos 1990 na União Europeia), mas as pesquisas com óleos vegetais para produção de biocombustível remontam à primeira metade 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 agravou problemas no balanço de pagamento das economias revelando a forte dependência do petróleo e a necessidade de investimentos em fontes alternativas.

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).

¹ 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.

² O RFS II também introduz critérios de sustentabilidade que necessitam de ser observados.

³ O PNPB é um 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, 2013).

⁴ Embora não represente a matéria-prima com maior rendimento (litros/hectare), seu predomínio se deve, em parte, ao aproveitamento da infraestrutura e resíduos da atividade principal pré-existente de produção de farelo para alimentação animal.

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 seria acompanhada pelo aumento na demanda de combustíveis renováveis (tecnologia substituta) que induz inovação para viabilizar seu uso reduzindo custos. Assim, a inovação no setor de biodiesel pode ser determinada pelo aumento da demanda induzida pelo aumento no preço do diesel convencional.

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 pode estimular 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 pode determinar a inovação no setor ao aumentar a capacidade tecnológica da qual o mesmo 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 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 (Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, 2008).

Nesse contexto, onde a inovação é fundamental para a redução do custo de abatimento das emissões de GEE pelo desenvolvimento de fontes renováveis, tem-se por objetivo investigar se os fatores de mercado, especialmente a tendência de alta no preço do petróleo, e as políticas públicas regulatória e fiscal afetam positivamente a inovação no setor de biodiesel dos principais países produtores da União Europeia, nos Estados Unidos e Brasil no período de 2000 a 2011. Também se pretende averiguar se a proporção do gasto do governo em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) tem influência positiva sobre a inovação no biodiesel.

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. Kruse e Wetzel (2015) levantaram 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 pesquisa, 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.

Este artigo tem seu desenvolvimento apresentado em 4 seções, além desta introdução. Na segunda, expõe-se a abordagem teórica que dá suporte ao objetivo apresentado. Na terceira 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 quinta seção.

2. Referencial Teórico

2.1 Determinantes *Demand-pull* da Inovação

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. Hicks (1932) apresenta a teoria da inovação induzida, a qual é definida como a inovação resultante da mudança no preço relativo dos fatores. 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 produção.

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. 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. Nessa perspectiva, Ahmad (1966) propõe um modelo analítico para o entendimento do fenômeno da inovação (ou invenção⁵) induzida nos moldes da abordagem tradicional de estática comparativa.

Enquanto o processo de substituição de fatores é refletido no movimento entre dois pontos sobre a mesma função de produção, o processo de inovação (que permite obter igual quantidade de produto empregando menos fatores de produção) é representado por qualquer tipo de mudança na função de produção⁶. Em vista disso, para um determinado nível específico de produção, a mudança de isoquanta⁷ expressa inovação.

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 isocusto⁸ 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 no mercado de combustíveis líquidos, onde o biodiesel é uma alternativa tecnológica substituta ao diesel, pelo mecanismo analítico proposto por Ahmad (1966). Para os períodos 0 e 1, C_0 e C_1 são curvas CPI neutras⁹ 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.

⁵ 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.

⁶ 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.

⁷ Cada curva isoquanta representa um nível de produção e cada conjunto de isoquantas está associado uma função de produção específica.

⁸ Representa as diferentes combinações de dois fatores que podem ser empregadas a um custo total constante.

⁹ Para isolar o efeito da mudança no preço dos fatores na natureza do processo inovador, pressupõe-se que a CPI seja neutra, 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.

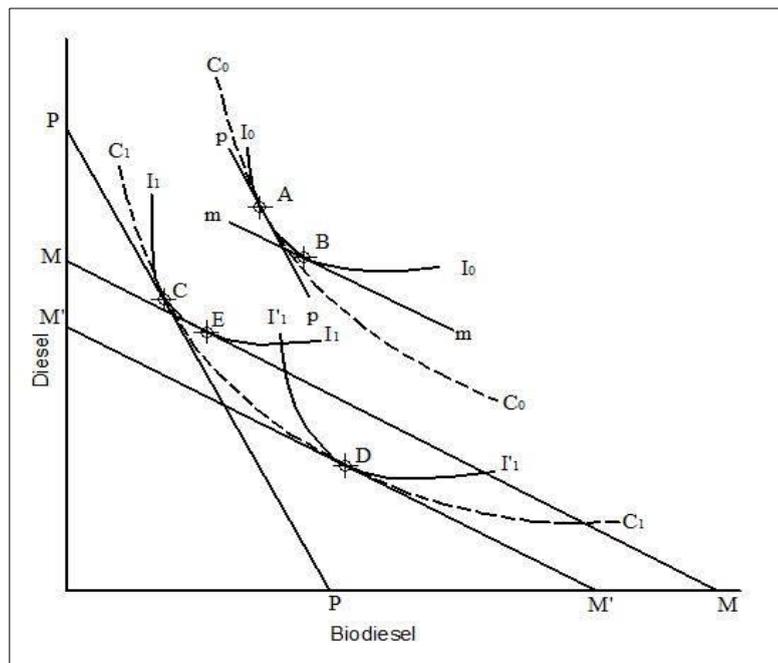


Figura 1 – Inovação induzida pelo aumento relativo no preço do diesel derivado do petróleo
 Fonte: Elaboração própria.

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).

Hayami e Ruttan (1985) apoiam-se nesse modelo desenvolvido por Ahmad (1966) para explicar as diferenças na produtividade e na trajetória de desenvolvimento agrícola 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.

Para prosseguir nesta seção teórica, 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 evolucionários. Esses estudos questionam, sobremaneira, 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 tecnológicos¹⁰ estabelecem as oportunidades tecnológicas 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)¹¹.

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. Portanto, apresenta-se a abordagem *technology-push* para dar

¹⁰ Onde a tecnologia define-se como um conjunto de partes do conhecimento codificado (teórico) e do conhecimento tácito (*know-how*).

¹¹ Na corrente evolucionária, o mercado constitui um dos mecanismos de seleção *ex-post* da inovação dentre opções de trajetórias.

suporte teórico à importância desses fatores.

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 inovadora. A capacidade tecnológica refere-se ao grau de “facilidade” (o quanto é custosa) a inovação na 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.

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 endogenamente¹². Ao simplificar seu modelo¹³ assumindo que a capacidade tecnológica da firma refere-se ao conhecimento tecnológico e científico gerado e acumulado internamente¹⁴, 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 pesquisa, ao utilizar o método do inventário perpétuo para mensurar o estoque de conhecimento, (1) equivale a (2):

$$\begin{aligned} E_{i,t-1} &= \text{inovação}_{i,t-1} + E_{i,t-2} \\ \Delta E_{i,t-1} &= \text{inovação}_{i,t-1} \end{aligned} \quad (2)$$

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_i^* .

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

¹² 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.

¹³ 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.

¹⁴ Analogamente, nesta pesquisa, assume-se que a capacidade tecnológica de cada país refere-se ao conhecimento tecnológico disponível internamente em cada país.

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 $\frac{\partial \text{inovação}^*}{\partial f}$ ¹⁵:

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

em que $\prod_{e_i, f}^i > 0$, 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 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.

Ciente das limitações, as abordagens *demand-pull* e *technology-push* apresentam-se adequadas a esta pesquisa, 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 públicas¹⁶ no setor sobre a inovação.

2.3 Inovação no Biodiesel e Políticas Públicas

As políticas de produção e 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 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 vendido¹⁷.

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 desenvolvem, pela disseminação do conhecimento tecnológico e pelo subsídio à pesquisa privada (COHEN e LEVIN, 1989).

3. Metodologia

Para mensurar inovação 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. 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).

¹⁵ 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.

¹⁶ 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).

¹⁷ 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/>.

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, apresenta-se um método econométrico adequado às propriedades específicas deste tipo de dados.

3.1 Modelo de Poisson em Painel de Efeito Fixo

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 variável dependente.

Uma alternativa eficaz que garante valores previstos sempre positivos é aplicar o estimador de Método dos Momentos Generalizados (MMG) baseado na especificação da variável dependente de contagem como uma função exponencial:

$$\mu_{it} = E[y_{it}/x_{it}, \dots, x_{i1}] = E[y_{it}/X_i^{(t)}] = \alpha_i \lambda_{it} \quad (6)$$

em que a esperança ou média condicional de y_{it} é positiva, $\mu_{it} > 0$; $\exp(x_{it}'\beta) = \lambda_{it}$; x_{it} é um vetor de K variáveis explicativas; a heterogeneidade não observada ou o efeito específico de cada indivíduo α_i é correlacionada com as variáveis explicativas, $E(x_{it}\alpha_i) \neq 0$, e admite-se a presença de regressor predeterminado, $E(x_{it}u_{it}) = 0$ quando $s \geq t$, onde realizações presentes e futuras do erro são não correlacionadas com o vetor de variáveis explicativas.

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

$$y_{it} = \alpha_i \exp(x_{it}'\beta) + u_{it} \quad (7)$$

Para obter estimativas consistentes para (7), uma alternativa diferenciação foi proposta por Chamberlain (1992b):

$$q_{it}(\theta) = \frac{\lambda_{i,t-1}}{\lambda_{it}} y_{it} - y_{i,t-1} = \frac{\lambda_{i,t-1}}{\lambda_{it}} u_{it} - u_{i,t-1} \quad (8)$$

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

Sob (6), 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 predeterminados¹⁸.

Dessa forma, quando o modelo é exatamente identificado, com o número de instrumentos igual ao número de parâmetros estimados, o estimador MMG resolve a seguinte condição de momento:

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

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:

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

¹⁸ É importante notar que este estimador não impõe qualquer restrição sobre a variância, assim, não pressupõe equidispersão (variância igual a média).

em que W_N é uma eficiente matriz de peso.

3.2 Base de dados

3.2.1 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. Consequentemente, 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 desenvolvida¹⁹.

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 nesta pesquisa. 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 para o Brasil, Estados Unidos e União Europeia em sua publicação, foi possível buscar e verificar a existência ou não de correspondente patente emitida.

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). As informações bibliográficas disponíveis e de interesse na pesquisa são: número da publicação do pedido e da patente; código alfabético associado; data do depósito do pedido; registros de prioridade²⁰; país de residência do depositante.

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 patente²¹.

Em seguida, foi identificado o registro dos pedidos (e correspondente patente) que pertenciam à mesma família “simples” (aquela que conjuga de semelhante conjunto de documentos prioridade) em “*also published as*” (em português: também publicado como. Identificadas as famílias, o documento seria alocado para o país que tivesse a nação de residência do depositante coincidente à nação do documento prioridade).

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 país²² 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, que não foram encontrados alguns dos registros disponibilizados naqueles

¹⁹ Esta prática é comum na literatura empírica. Dentre muitos, Popp (2002) e Karmarkar-Deshmukh e Pray (2009) são alguns exemplos.

²⁰ 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.

²¹ 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>.

²² O país de residência do depositante representa a origem do documento e é identificado, na pesquisa, pelo país do primeiro depositante (muitos documentos apresentam mais de um depositante).

estudos²³. Além disso, na sequência, note que as famílias de patentes são referenciadas apenas como patentes para simplicidade na exposição.

3.2.2 Variáveis Explicativas

Para obter a demanda do mercado em cada país, emprega-se a taxa anual (%) de crescimento do consumo de biodiesel, $cresCons_{it}$, já que permite captar a expectativa de crescimento futuro do mercado e, dessa forma, a expectativa de retorno da inovação. Na unidade de (mil) barris ao dia, os dados sobre consumo de biodiesel estão disponíveis no U.S. *Energy Information Administration* (EIA).

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*. 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)²⁴. 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*. De modo que fosse obtida a necessária variabilidade nos indivíduos do painel (países) para a adequada execução do método, pondera-se o preço (100=2005) desta *commodity* por sua taxa de dependência externa. Essa taxa é obtida pela razão entre o total de petróleo importado e o total consumido no ano 2000²⁵. Assume-se, portanto, que os efeitos da mudança no preço do petróleo sejam maiores quanto maior a dependência externa. Cada série está disponível em (mil) barris ao dia e são coletadas no U.S EIA.

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, $txP\&Dgov_{it}$. 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). Na medida em que dados sobre gasto bruto em P&D financiado pelo governo da Itália somente estão disponíveis a partir de 2005, o país foi retirado da amostra.

Para mensurar a capacidade tecnológica de inovação em biodiesel de um país, calcula-se o estoque de conhecimento em biodiesel, $E_{i,t-1}$ ²⁶, pelo método do inventário 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 literatura²⁷. 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.

Apresentam-se resumidamente as informações sobre a fonte e unidade de medida das variáveis do modelo na Tabela 1 para facilitar sua localização.

²³ Os números destes registros são apresentados no Quadro A1 do ANEXO.

²⁴ A série de dados utilizada refere-se ao *Crude Oil (petroleum), Dated Brent, light blend 38 API, fob U.K.*

²⁵ A taxa de dependência externa é relativamente constante ao longo dos anos da amostra.

²⁶ 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).

²⁷ Ver Verdolini e Galeotti (2011) e Kruze e Wetzell (2015).

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

Variável	Descrição	Unidade	Fonte
Pat_{it}	Patentes relacionadas ao biodiesel	Número de patentes	Espacenet (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	Espacenet (EPO)

Fonte: Elaboração própria.

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

3.3 Modelo Empírico

Com o suporte da teoria sobre inovação e conhecida a formulação das variáveis é possível detalhar a equação (7) especificando, em (9), a forma funcional do modelo empírico estimado pelo método econométrico apresentado:

$$Pat_{it} = \alpha_i \exp(\beta_1 cresCons_{it} + \beta_2 Ppetro_{it} + \beta_3 txP \& Dgov_{it} + \beta_4 política + \beta_5 E_{i,t-1} + \beta_6 t) + u_{it} \quad (9)$$

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 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 as variáveis explicativas tenham coeficientes β_k com sinal positivo e estatisticamente significativos. Para estimar a equação (9), o estimador apresentado a lineariza 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 (10):

$$EM_{ik} \equiv \frac{\partial E[y_{it}/x_{it}, \alpha_i]}{\partial x_{ik}} = \alpha_i \exp(x_{it}'\beta) \beta_k = \beta_k E[y_{it}/x_{it}, \alpha_i] \quad (10)$$

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

4. Resultados

4.1 Patentes

Ao longo dos 12 anos foram emitidas 530 patentes em biodiesel nos 8 países da amostra, o que representa uma média anual de aproximadamente 44 patentes emitidas pelos principais produtores. Pela análise do Gráfico 1 na Figura 2, verifica-se que a inovação nos principais países produtores e inovadores durante o período de 2000 a 2011 cresce quase ininterruptamente até 2005, 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 pesquisa. 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.

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.

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.

As patentes 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 biodiesel²⁸, verifica-se que é alta a inserção estrangeira de patentes em biodiesel na maioria dos países (Gráfico 4), 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%.

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.

²⁸ Essa 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.

Gráfico 1

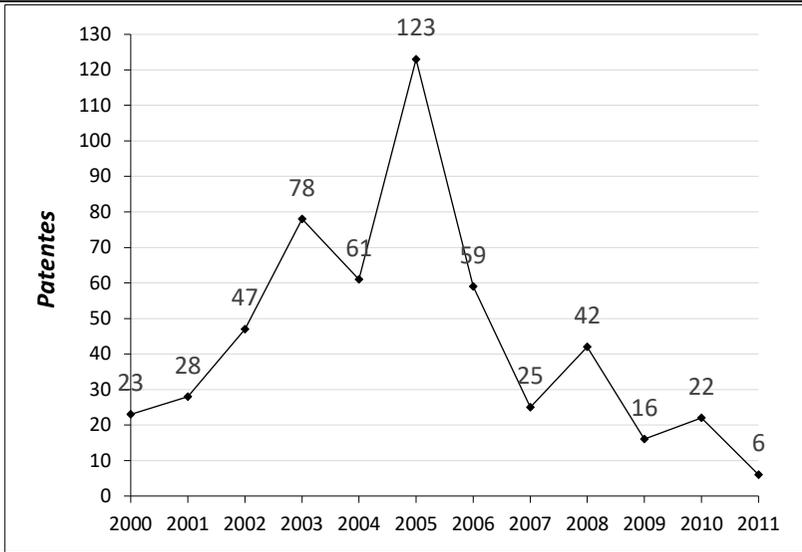


Gráfico 2

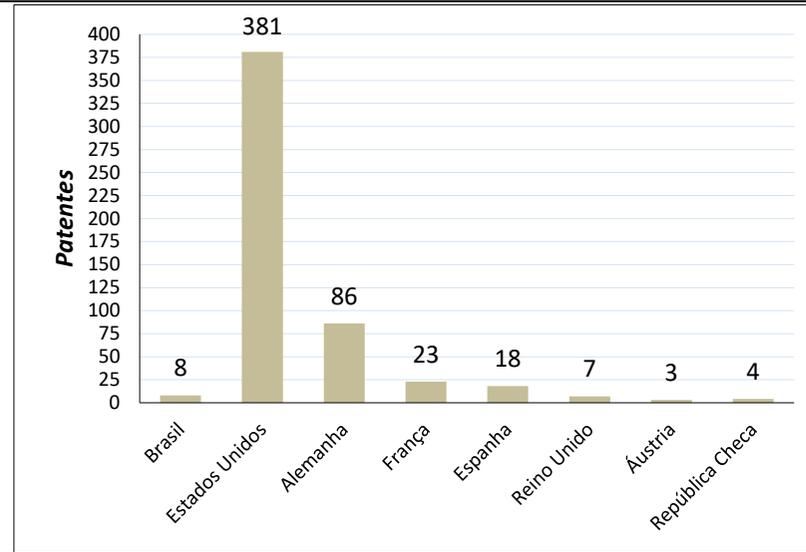


Gráfico 3

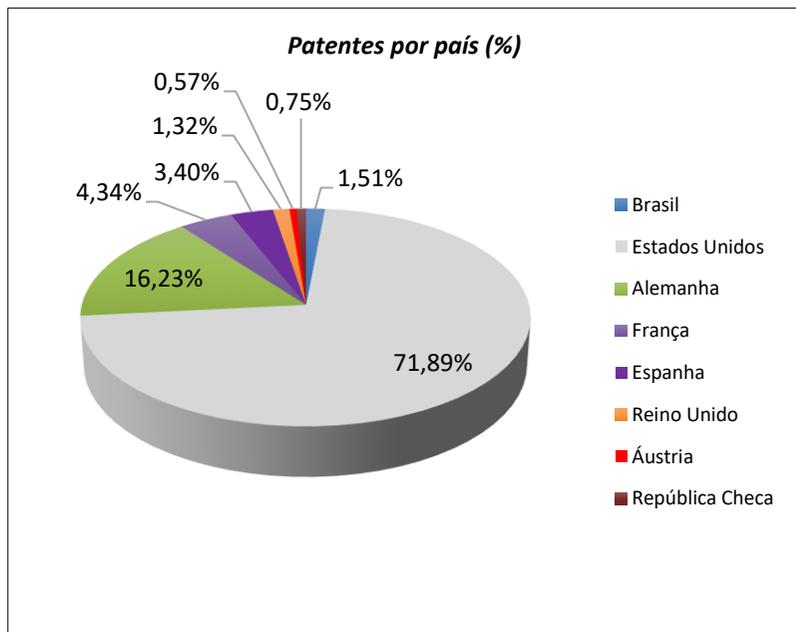


Gráfico 4

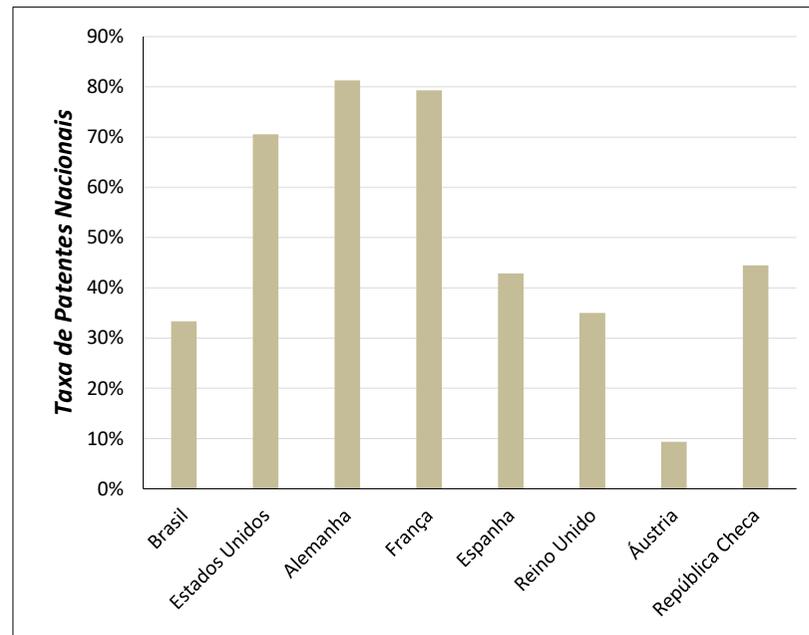


Figura 2 – Estatísticas Descritivas sobre os dados de Patentes
 Fonte: Elaboração própria.

Agora, pela análise do Gráfico 5, é possível perceber 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%.

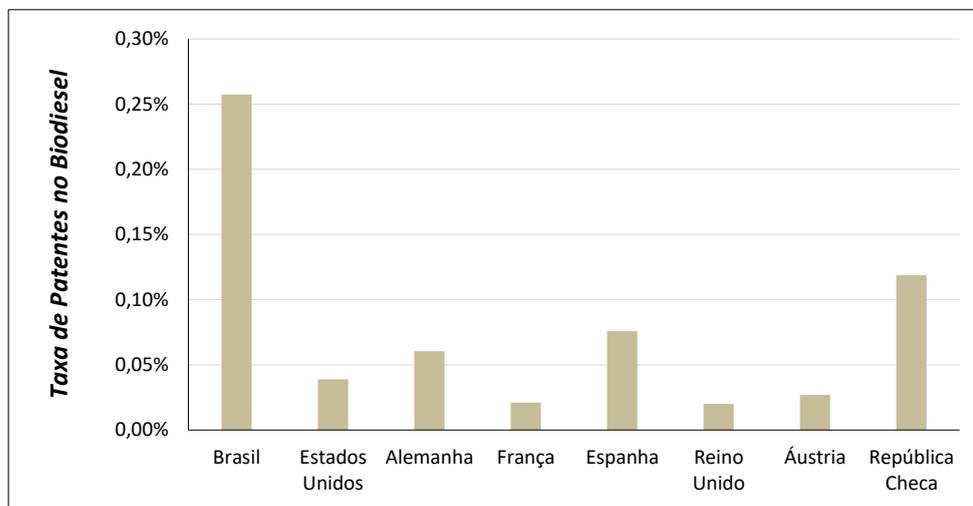


Gráfico 5 – Participação (%) das patentes em biodiesel no total de patentes em todas as áreas do conhecimento depositadas por residente¹ no período de 2000 – 2011²

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.

²Essa 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.

4.2 Resultado Empírico

Os resultados empíricos do modelo especificado na equação (9) são apresentados na Tabela 2. Visto que a variável estoque contém um termo auto regressivo em sua formulação gerando correlação entre uma variável explicativa e o termo de erro, para obtenção de estimativas consistentes do modelo especificado na equação (9), 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).

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 2 – Coeficientes estimados para o modelo de Poisson de Efeito Fixo

Variável	Poisson de Efeito Fixo (MMG)	Efeito Marginal
$crecCons_{it}$	8,46e-07*** ¹ (2,12e-07)	4,67e-06
$Ppetro_{it}$	0,0805 *** (0,0246)	0,4446
$txP \& Dgov_{it}$	0,3483*** (0,1304)	1,9231
<i>política</i>	0,9901* (0,5092)	5,4659
$E_{i,t-1}$	0,0055*** (0,0005)	0,0301
t	-0,8175*** (0,0513)	-4,5134
² $\chi^2(1)$	2,3322	-
Valor-p	0,1267	-

Fonte: Elaboração própria.

Notas: ¹Valores entre parênteses são os erros-padrão. ***Coeficiente significativo a 1%. *Coeficiente significativo a 10%. ²Estatística 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 Wetzel (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.

5. 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 está entre 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 método econométrico apropriado 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 pesquisa.

Innovation in the biodiesel sector of the main producer countries: the role of induced demand from 2000 to 2011

Abstract: The objective is to investigate whether the upward trend in oil price and whether regulatory and fiscal public policies affect innovation in the biodiesel sector. Also, we intend to investigate whether there is a influence from the proportion of government spending on Research and Development (R&D). Deposited patents by resident were used to measure innovation in Brazil, United States, Germany, France, Spain, United Kingdom, Austria and Czech Republic from 2000 until 2011. The Generalized Moments Method (MMG) estimator is applied to the Poisson model in a Fixed Effect panel. It is proper for count

data and for taking into account the endogeneity. The results indicate that the oil price and public policies are demand-pull factors that stimulate innovation in biodiesel by increasing its demand and expected return. On the supply side, government investment in R&D is a technology-push factor because it increases the technological capacity that benefits the biodiesel sector.

Keywords: Biodiesel, Innovation, Oil price, Public policies.

Referências

- AHMAD, S. On the Theory of Induced Innovation. **The Economics Journal**, v.76, n.302, p.344–357, 1966.
- 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. **Count Panel Data**. In: BALTAGI, B. H. *The Oxford Handbook of Panel Data Econometrics*. Oxford University Press, New York, 2015.
- 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.; LEVINTHAL, 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.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis/Ano base 2012**, 2013.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- KARMARKAR-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.
- 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.
- LANZI, E.; HAŠČIČ I.; JOHNSTONE N. The Determinants of Invention in Electricity Generation Technologies: A Patent Data Analysis. *OECD Environment Papers*, n. 45, 2012.
- MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário. Disponível em: <http://portal.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel/2286217> . Acesso em: novembro/2013.
- 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.
- POPP, D. Induced innovation and energy prices. *The American Economic Review*, v.92, n.1, p.160–180, 2002.
- ROSENBERG, N. Science, Invention and Economic Growth. *The Economic Journal*, v. 84, n. 333, p.90-108, 1974.
- 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.

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 – Registros publicados no estudo do INPI que não foram encontrados no *site Espacenet* (EPO) durante a busca por patente

DE10293630D	DE50201102D	DE59811972D	DK635558T	DE59812723D
DE10393708D	DE50307153D	DE60218677D	DK775185T	DE50112468D
DE3573131D	DE58904306D	DE69110036D	DE10190350D	DE50203532D
DE3660766D	DE59204655D	DE50007569D	DE10390808D	DE59600596D
DE3661192D	DE59208211D	DE50012237D	DE50012598D	DK771599T
DE50003549D	DE59300838D	DE59106692D	DE50105819D	DK900822T
DE50006589D	DE59401356D	DE59807089D	DE50200261D	DE59804844D
DE50103259D	DE59409130D	DE59810929D	DE69405895D	DK523767T
DE50103724D	DE59700863D	DE69815447D	DE69804541D	DK562504T
DE50112634D	DE59804365D	DE69831261D	DK953105T	DK855436T
				DK931051T
				SK200000772

Fonte: INPI, setembro/2008.