

UMA ANÁLISE ESPACIAL DA DEMANDA POR DIESEL NOS ESTADOS BRASILEIROS

A SPATIAL ANALYSIS OF DIESEL DEMAND IN THE BRAZILIAN STATES

Yuri Machado de Souza

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP

yurimachadodesouza95@gmail.com

Luciano Rodrigues

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP

lurodrig@usp.br

Grupo de Trabalho (GT): GT1 Mercados Agrícolas e Comércio Exterior

Resumo

As grandes mudanças na dinâmica energética mundial e no funcionamento do mercado doméstico de combustíveis exigem um entendimento profundo do comportamento do consumo energético nos diferentes setores da economia. Em atenção a isso, o presente trabalho possui como objetivo compreender e mensurar variáveis que impactam a demanda por diesel nos estados brasileiros. A metodologia empregada utiliza dados em painel e econometria espacial na avaliação da demanda pelo derivado no período de 2002 a 2016. Em relação às elasticidades preço e renda da demanda, as estimativas obtidas atingiram, respectivamente, -0,5275 e 0,4247 para o modelo determinado como mais adequado para o problema estudado (modelo SLX com efeitos fixos). Além dessas elasticidades, estimou-se que o crescimento de 1% na produção agropecuária de um estado promove um aumento de 0,1471% na demanda pelo diesel no mesmo estado. Os resultados indicaram ainda que a demanda por diesel em uma determinada unidade da federação é influenciada pela dinâmica da renda e da produção agropecuária nos Estados vizinhos. A defasagem espacial dessas variáveis indicou elasticidades de 0,2361 e -0,1575 para a renda e o valor da produção agropecuária, respectivamente. Os resultados obtidos oferecem indicações importantes para formuladores de políticas públicas e ações empresariais relacionadas ao mercado de diesel e biodiesel no Brasil.

Palavras-chave: Econometria espacial, Planejamento energético, Modelagem estatística, Demanda por combustíveis.

Abstract

The changes observed in the global energy matrix and in the Brazilian fuel market require a deep understanding of the behavior of energy consumption. In this context, the present study aims to understand and measure variables that impact the demand for diesel in the Brazilian states. The adopted methodology uses panel data and spatial econometrics to assess the demand for diesel from 2002 to 2016. The estimated price and income elasticities of demand reached -0.5275 and 0.4247, respectively, for the SLX model with fixed effects. The results also indicated that a growth of 1% in the agricultural production of a state promotes an increase of 0.1471% in the demand for diesel in the same state. Additionally, the estimated parameters show that demand for diesel in a state is influenced by income and agricultural production in neighboring states. The spatial lag of these variables indicated elasticities of 0.2361 and -0.1575 for income and for the value of agricultural production, respectively. The results obtained offer important indications for public policy makers and business actions related to the diesel market in Brazil.

Keywords: spatial econometrics, energy planning, statistical modeling, fuel demand.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de diesel para o transporte de cargas no Brasil se expandiu de forma expressiva na última década. Esse aspecto, associado à política de represamento dos preços do produto e à consequente limitação imposta para a expansão do parque nacional de refino nacional, promoveu um aumento de importação sem precedentes na história recente do País (Biodieselbr, 2019).

O Brasil, que era autossuficiente e exportador de derivados até 2008, passou a importar volumes crescentes de diesel para atendimento da demanda doméstica. Esse movimento não planejado alterou substancialmente o fluxo de transporte do produto no mercado nacional, ampliando a complexidade dessa operação. Ao mesmo tempo, nesse período, se observou um avanço das exportações agropecuárias, com maior uso do diesel para o transporte dessas mercadorias, e o emprego do derivado para a geração de energia elétrica.

Com efeito, em 2018 o país importou 10,8 bilhões de litros de diesel para o abastecimento doméstico, que representou mais de 20% da demanda nacional pelo derivado (ANP, 2019).

Esse cenário com ajustes expressivos na demanda e alterações na estrutura de suprimento de diesel tem gerado preocupação entre os agentes que atuam nesse mercado, exigindo uma análise mais estruturada da demanda pelo produto com vistas à consecução de novos investimentos na produção, na logística de importação e na distribuição do produto.

A despeito dessa situação e do fato de que a matriz nacional de transporte de cargas há décadas depender fundamentalmente do suprimento regular do derivado, os estudos sobre a demanda por diesel no Brasil são escassos. A literatura sobre o tema no país se limita a trabalhos técnicos que buscam descrever as etapas da produção e distribuição do produto, salvo algumas exceções que serão discutidas ao longo deste estudo.

Os trabalhos disponíveis na literatura para o mercado nacional incorporam essencialmente os estudos conduzidos por Cardoso e Jesus (2018), Reis (2016) e Luz (2015). Nesse contexto, a proposta aqui apresentada busca ampliar o conhecimento sobre o tema, trazendo contribuições metodológicas importantes ao incorporar interações espaciais no ferramental analítico empregado.

Isso posto, no presente trabalho busca-se compreender e mensurar as variáveis que impactam a demanda por diesel nos estados brasileiros, tomando como referência o período de 2002 a 2016. Para tanto, além de uma análise lógica e sequencial sobre o assunto, serão estimadas equações de demanda por diesel utilizado no transporte, permitindo um melhor entendimento da dinâmica do consumo doméstico.

Sob o ponto de vista prático, o estudo se justifica por oferecer elementos fundamentais ao melhor planejamento dos agentes públicos e privados que atuam no setor, incluindo aqueles que utilizam o produto como insumo para transporte de suas mercadorias e também os produtores de biodiesel, que possuem as suas vendas atreladas ao consumo de diesel no País. Ademais, o entendimento da demanda energética pelo derivado é fundamental para as projeções utilizadas no desenho das metas de descarbonização da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio).

Os resultados obtidos também devem contribuir para a ampliação da literatura nacional e internacional sobre o tema, especialmente por utilizar metodologia não convencional sobre o assunto.

Além da presente introdução, o trabalho está dividido em outras quatro seções. A segunda seção traz a revisão bibliográfica, que apresenta uma contextualização sobre o mercado de diesel no Brasil, expõe a literatura disponível sobre o problema em análise e detalha os estudos que empregaram técnica semelhante àquela adotada no presente trabalho. A terceira seção, por sua vez, apresenta a metodologia adotada. E, por fim, a quarta e quinta seções incorporam os resultados e as conclusões do estudo, respectivamente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Mercado de diesel

O mercado brasileiro de diesel se concentra com maior expressão nas regiões Sul e Sudeste do País. Essas duas regiões, juntas, representaram mais de 60% de todo volume do derivado consumido domesticamente em 2018. A concentração do consumo nessas regiões se manteve relativamente estável nos últimos anos e se deve à maior atividade econômica nesses locais, a qual cria demanda pelo modal rodoviário para transporte de quantidade crescente de mercadorias.

Uma compreensão mais detalhada da distribuição geográfica do consumo de diesel no País pode ser observada na Figura 1. O mapa apresentado evidencia a elevada participação relativa dos Estados das regiões Sul e Sudeste, além da importância dos Estados com maior atividade agrícola nas demais regiões.

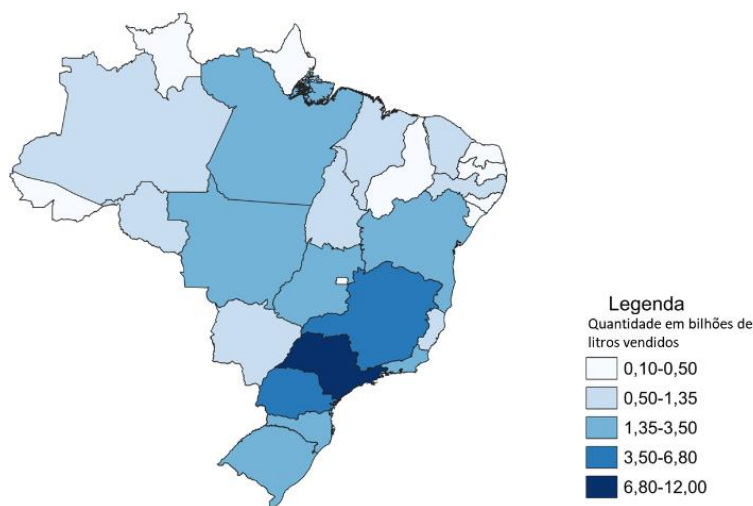


Figura 1. Participação relativa das unidades da federação nas vendas de diesel em 2018.

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

Entre as atividades da economia brasileira, o diesel é predominantemente utilizado para transporte de mercadorias e passageiros. Como pode ser observado na Figura 3, o uso de diesel para transporte representou quase 90% de todo o volume comercializado domesticamente em 2018. Esse percentual pode ser obtido somando a participação do

transporte propriamente dita com as vendas em TRR¹, as quais também são direcionadas prioritariamente ao uso no transporte rodoviário.

Chama atenção ainda o uso do diesel nas atividades da agricultura, que consumiram cerca de 4% de todo volume comercializado no País em 2018.

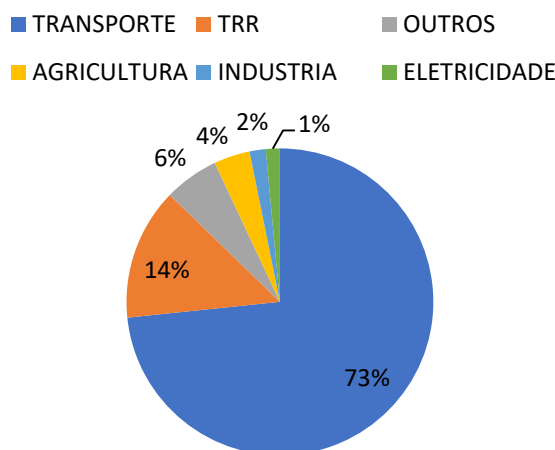


Figura 2. Consumo de diesel por atividade em 2018.
Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

Outro aspecto importante no mercado de diesel é o preço do derivado. A Figura 3 mostra os preços médios praticados para o diesel A no Brasil. No período de 2004 a 2018, podemos observar que há momentos de estagnação do preço praticado, chegando a observar meses com queda nominal no valor do derivado.

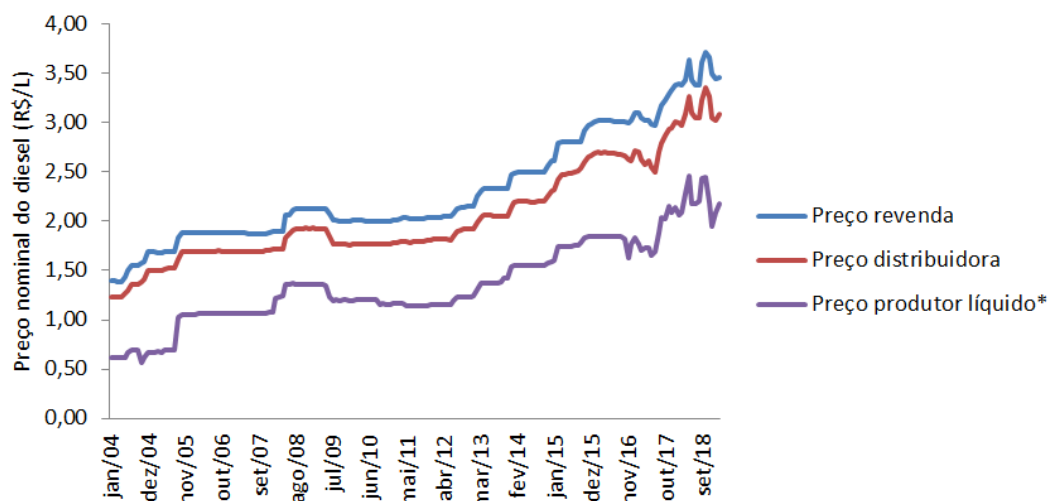


Figura 3. Preço nominal do diesel (R\$/L)
Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).
* preço produtor líquido calculado a partir da diferença entre o preço bruto ao produtor publicado pela ANP (2019) e os impostos que incidem na comercialização desse produto.

¹ A sigla TRR faz referência a Transportador-Revendedor-Retalhista, que compreende empresas autorizadas pela ANP a adquirir grandes quantidades de combustível a granel, óleo lubrificante acabado e graxa envasados para depois vender para outras empresas e consumidores (ANP, 2019).

Essa dinâmica atípica de precificação do derivado domesticamente se deu pelo controle de preços realizado no mercado nacional em diversos momentos nos últimos anos, entre eles os períodos como os de out/2005 a jan/2008 e jul/2009 a jun/2012, como forma de conter artificialmente a inflação. Como é possível observar na Figura 4, houve queda dos preços em termos reais após 2006.

Esse controle de preços causou uma disparidade entre o preço doméstico e o internacional, interferindo na dinâmica do mercado interno, como bem indicado por Almeida, Oliveira e Losekann (2015). O controle de preços se reflete de maneira clara na evolução do preço real do diesel A no Brasil, assim como pode ser confirmado pela Figura 4.

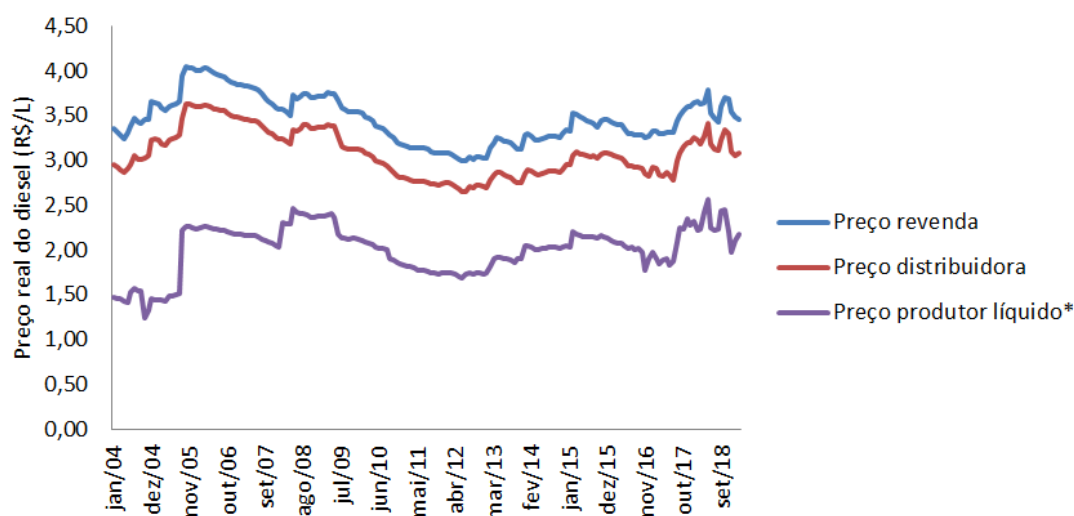


Figura 4. Preço real do diesel (R\$/L)

Fonte: Elaboração própria com dados da ANP (2019).

* preço produtor líquido calculado a partir da diferença entre o preço bruto ao produtor encontrado na ANP (2019) e os impostos que incidem na comercialização desse produto.

Essa breve descrição do mercado de diesel no País evidencia a importância da atividade de transporte na demanda pelo derivado. Nesse contexto, se destaca o modal rodoviário que, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), representou 61% das cargas e 95% dos passageiros transportados em 2018.

A essa condição, acrescenta-se que, em média, os caminhões em operação no mercado nacional trafegam mais de 140 mil km/ano (ESALQ-LOG, 2019; ANTT, 2019). Assim, considerando que a diferença média entre as capitais dos estados vizinhos é de 840 km (Agility Logistics, 2019), fica evidente que a distância média percorrida pelos caminhões permite o deslocamento frequente entre as diferentes unidades da federação.

Esse cenário justifica a proposta metodológica sugerida pelo presente estudo, que deve avaliar a demanda assumindo a possibilidade de correlação espacial entre os diferentes Estados. Considerando a dinâmica apresentada, é natural se esperar que o preço de um Estado possa impactar a demanda por diesel em outro. De forma equivalente, a atividade econômica em uma determinada região pode gerar alteração no consumo de diesel em outra localidade na qual os caminhões trafegaram.

2.2. Literatura disponível sobre a demanda por diesel

De acordo com Huntington, Barrios e Arora (2017), há na literatura internacional um reduzido número de trabalhos que analisam a demanda por diesel quando comparamos com as demais fontes de energia e combustíveis. Em sua pesquisa, os autores verificaram que dos 258 trabalhos que estimaram a demanda por combustíveis, apenas 5 (1,93%) estimaram a demanda por diesel.

Dentre os estudos disponíveis na literatura nacional, Cardoso e Jesus (2018) utilizaram dados mensais, com um modelo de ajustamento parcial estimado por meio de variáveis instrumentais, para encontrar as elasticidades de curto e longo prazo por diesel. Os autores identificaram que a demanda pelo derivado é inelástica a preço e apresenta elasticidade superior a uma unidade no caso da renda.

Reis (2016), por sua vez, estruturou as estimativas de demanda tendo como principal objetivo identificar os impactos ambientais da emissão de gases de efeito estufa no setor de transporte brasileiro. Para tanto, o autor estimou um modelo de regressão linear múltipla para estudar o comportamento do consumo de combustíveis no mercado nacional.

Uma das principais conclusões de seu trabalho é o fato de que, para o mercado brasileiro, o diesel é menos sensível a variações no preço que os outros dois combustíveis, gasolina e etanol. Isso se dá pela grande presença da frota flex rodando atualmente no país. A substituição desses combustíveis por diesel, entretanto, é praticamente nula, visto que não é permitida a comercialização de automóveis movidos a diesel no mercado nacional².

No trabalho elaborado por Luz (2015), foram testados diversos modelos de projeção de consumo de diesel. Entre as conclusões obtidas pelo autor, cabe mencionar a identificação do preço e da renda como as variáveis com maior relevância na determinação do consumo de diesel.

Ao modelar demandas regionais, Luz (2015) encontrou diferenças significativas entre os estados da federação. De acordo com o autor, a modelagem desagregada entre os Estados apresentou melhores projeções se comparada com os resultados obtidos a partir dos modelos agregados nacionalmente. Adicionalmente, o autor observou que a inclusão do PIB agrícola foi fundamental para explicar sazonalidade observada para o consumo de diesel no país.

Em seu artigo, Iooty et al. (2009) ressaltam a importância do diesel na dinâmica do consumo de combustíveis no Brasil. Os resultados também indicaram que existe elevada elasticidade de substituição entre gasolina e etanol, mas baixo grau de substituição entre esses produtos e o diesel.

² A proibição do uso do diesel em veículos leves no Brasil se deu pela portaria nº 346, de 19 de novembro de 1976, do Ministério da Indústria e Comércio. Essa portaria foi substituída pela portaria 23 do Departamento Nacional de Combustível-DNC, em 6 de junho de 1994. Atualmente, a Resolução 25/98 do CONTRAN somente autoriza o emplacamento de veículos movidos diesel se os mesmos atenderem as normas definidas na portaria 23/1994 do DNC.

Apesar de conduzirem pesquisas com objetivos distintos na análise do mercado brasileiro de diesel, os resultados obtidos por esses autores indicam que a demanda por diesel é inelástica a preço tanto no curto, como no longo prazo. No caso da renda, os resultados não são conclusivos, visto que alguns estudos encontraram parâmetros superiores a uma unidade.

Entre os artigos publicados sobre os mercados de combustível em âmbito internacional, vale mencionar o estudo conduzido por Dahl (2012), que sintetiza os resultados encontrados na literatura para os mercados de gasolina e diesel em diversos países. Os resultados encontrados nos artigos analisados pela autora indicam que a mediana das elasticidades preço da demanda por diesel foi de -0,16, já a média foi mais elástica.

Em seu artigo, Dahl (2012) mostra que países mais pobres, com um PIB per capita menor do que quinze mil dólares, apresentam elasticidade preço da demanda menor, em média, do que aqueles com mais do que esse valor de PIB per capita. Uma das justificativas para essa diferença é como o aumento de renda nesses países afeta de maneira diferente o número de veículos que transitam nas cidades, além da atividade econômica desses países.

A distribuição da elasticidade renda da demanda por diesel, por sua vez, possui um comportamento diferente. Entre os trabalhos analisados por Dahl (2012), foram obtidos valores no intervalo entre 0,67 e 1,33, não permitindo concluir de forma direta que a demanda por diesel é inelástica em relação à renda.

Em linhas gerais, é possível afirmar que os parâmetros obtidos pelos escassos trabalhos conduzidos no mercado nacional são semelhantes àqueles disponíveis na literatura internacional para países com características similares ao Brasil.

3. METODOLOGIA

Nesta seção, serão apresentados os dados utilizados e os modelos empíricos que serão estimados para atender o objetivo proposto inicialmente.

3.1. Descrição dos dados

Os dados de consumo e preços de diesel por Estado da Federação foram obtidos junto à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2019).

Adicionalmente, foram coletadas séries que retratam a atividade econômica com possível impacto no consumo do diesel. Especificamente, se utilizou PIB anual por Estado publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) e o valor bruto da produção Agropecuária estadual, também disponibilizado pelo Instituto (IBGE, 2019).

Por fim, as séries monetárias foram convertidas para valores reais de dezembro de 2016 e as séries de quantidade que estavam em valores absolutos foram convertidas em valor *per capita* em cada Estado. Para tanto, se utilizou o IGP-DI anual obtido por meio da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2019) e a população anual de cada Estado, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

Os dados serão utilizados de maneira a construir um painel com 27 unidades federativas ao longo de 15 anos, somando 405 observações.

Para uma maior compreensão das variáveis, a Tabela 1 apresenta a estatística descritiva das séries que serão utilizadas nos modelos.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis adotadas tomando-se os valores médios para o Brasil (valor anual).

Variáveis	Descrição	Medido em	Média	Desvio-Padrão	Máximo	Mínimo
Consumo	Consumo de diesel	Litros <i>per capita</i>	262,23	151,81	849,73	66,44
Preço	Preço do diesel*	R\$	3,15	0,33	4,37	2,43
Renda	PIB <i>per capita</i> *	R\$ <i>per capita</i>	23.356,26	13.901,31	83.141,62	5.934,17
Agro	Valor bruto da agropecuária*	R\$ <i>per capita</i>	1.487,00	1.332,92	7.588,25	130,69

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos.

* Séries convertidas para valores reais de dezembro de 2016, tendo como deflator o Índice Geral de Preços (IGP-DI) publicado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2019).

3.2. Estratégia empírica

A especificação mais utilizada para modelar a demanda por diesel na literatura disponível sobre o tema contempla o preço do derivado e a renda do consumidor como variáveis que determinam o consumo do produto. Essa lógica é adotada Cardoso e Jesus (2018), Reis (2016), Luz (2015), Iooty et. al. (2009), Pisa (2012), Zimmer e Koch (2016) e González-Marrero et. al. (2012), entre outros.

No presente trabalho, entretanto, também foi inserida uma variável para retratar a dinâmica da agropecuária sobre o consumo de diesel, já que está desempenha importante papel na demanda pelo derivado.

Para estimar o modelo, as séries utilizadas são configuradas de maneira a formarem um painel de dados, obtendo diferentes informações ao longo do tempo para as unidades da federação.

De acordo com a investigação realizada por Huntington, Barrios e Arora (2017), há na literatura internacional uma reduzida quantidade de estudos que utilizam dados em painel quando comparamos com os demais. Dos 258 trabalhos analisados pelos autores, apenas 19 (7,36%) utilizaram dados em painel para estimar a demanda por combustíveis. Dessa parcela, nenhum dos estudos utilizou dados em painel para estimar especificamente a demanda por diesel. Essa característica usualmente está relacionada a dificuldade de obtenção de dados desagregados.

Nesse contexto, Pisa (2012), ao estimar a demanda pelo derivado, verificou que há ganho de significância estatística no modelo de dados em painel com efeitos fixos quando este é comparado com um modelo de regressão linear múltipla. Como conclusões, o autor verificou que a elasticidade renda da demanda por diesel foi 1,29 e a elasticidade de preço alcançou -0,47.

Como descrito anteriormente, no mercado brasileiro o consumo de diesel é predominantemente realizado por caminhões que, em grande medida, percorrem diferentes Estados. Essa condição sugere que o preço, a renda e outras variáveis de um estado possam influenciar o consumo de diesel em outra unidade da federação. Essa situação exige que seja

testada a correlação espacial entre as variáveis de análise e utilizados modelos que possam incorporar essa informação nas estimativas.

Assim, dada à estrutura dos dados e o fenômeno em questão, serão utilizados modelos de econometria espacial tendo como base os modelos de efeitos fixos e aleatórios.

Os modelos de painel com efeitos fixos e aleatórios possuem como objetivo controlar componentes não observados. De acordo com Wooldridge (2002), esses componentes não observados podem ser trabalhados como um parâmetro fixo a ser estimado entre as unidades cross-section, abordagem de efeitos fixos, ou como uma variável aleatória, abordagem de efeitos aleatórios. Esses modelos serão utilizados como base para os modelos de econometria espacial posteriormente.

A escolha pelo melhor modelo entre efeitos fixos e aleatórios se dará pelo teste de Hausman, que visa comparar os modelos sobre as hipóteses nula de que o modelo de efeito aleatório é mais adequado.

Além desse teste, serão realizados os testes para avaliar a presença de heterocedasticidade e autocorrelação dos resíduos. Com os resultados dos testes, pode ser avaliada a pertinência do uso de um modelo robusto *cochrane orcutt* para maior robustez nos parâmetros estimados, conforme preconizado por Greene (2012).

Em função da natureza dos dados que estão sendo aqui trabalhados, o uso de econometria espacial pode ser fundamental para garantir a robustez necessária aos resultados. Segundo Elhorst (2014), quando os modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios são integrados com alguma modelagem de interação espacial permitem a estimação de parâmetros consistentes.

Nesse contexto, o procedimento empírico adotado para os modelos que incorporam os efeitos espaciais segue a proposta preconizada por Halleck Vega e Elhorst (2015). Devido à elevada quantidade de restrições que os outros modelos imprimem à matriz de ponderação espacial e às interpretações dos efeitos *spillovers*, os autores sugerem que uma abordagem eficiente deve partir do modelo SLX (que utiliza defasagens espaciais nas variáveis explicativas). Se necessário, preconizam o uso dos modelos SDM, que possuem defasagens espaciais nas variáveis explicativas e explicada, ou os modelos SDEM, que possuem defasagens espaciais nas variáveis explicativas e no erro.

Em todos os modelos, será utilizada uma matriz de ponderação espacial (W) do tipo *queen* de contiguidade para vizinhos diretos padronizada pela linha. A matriz é formada de modo com que $w_{ij} = 0$ para estados que não são vizinhos e $w_{ij} = 1$ para estados vizinhos.

O uso dessa matriz facilita a compreensão dos resultados. Ademais, outras matrizes de ponderação foram testadas (matriz *rook*, matriz de distância inversa e matrizes de k-vizinhos mais próximos com k igual a 3, 4 e 5) e não foram observadas mudanças relevantes nos resultados obtidos.

A escolha dessa matriz de ponderação de espacial pressupõe que a interação no nível estadual se dá apenas pelos vizinhos diretos, assim, as variáveis espacialmente defasadas irão representar uma média dos vizinhos daquela determinada região.

Isso posto, o primeiro modelo a ser estimado (SLX) é dado por:

$$y = X\beta + WX\tau + \varepsilon \quad (I)$$

A modelagem da interação espacial também pode ocorrer assumindo que há endogeneidade espacial (ANSELIN, 2013). Sendo assim, o segundo modelo a ser estimado é dado a partir da estrutura SDM:

$$y = \rho W y + X \beta + W X \tau + \varepsilon \quad (II)$$

O modelo SDEM, por sua vez, apresenta uma estrutura que modela os efeitos espaciais a partir dos erros da equação, conforme especificado a seguir:

$$\begin{aligned} y &= X \beta + W X \tau + \varepsilon \\ \xi &= \lambda W \xi + \varepsilon \end{aligned} \quad (III)$$

As equações são denotadas partir da notação matricial, sendo: y a variável explicativa, definida por um vetor $n \times 1$; n o número de observações; X representa as variáveis explicadas, definido por uma matriz $n \times k$, em que k é o número de parâmetros; β retrata os parâmetros estimados, denotados por meio de vetor $k \times 1$; e, ε representa o erro do modelo, com média zero e variância constante.

No caso dos modelos (II) e (III), a estimação é realizada por máxima verossimilhança.

Para todos os modelos apresentados nas equações (I) a (III), temos que: W é a matriz de ponderação espacial, já especificada anteriormente; ξ é o erro com o componente espacial; λ é o parâmetro do erro autoregressivo espacial que acompanha a defasagem; ρ é o coeficiente autoregressivo espacial; e, τ é um vetor de $(k-1)$ por 1, sendo k sendo o número de parâmetros a serem estimados.

Por fim, cabe mencionar que limitações de eficiência na estimação dos parâmetros devido a endogeneidade de preços na determinação da demanda não estão presentes no problema em análise. Como visto anteriormente, no Brasil o preço do diesel é determinado essencialmente pelo valor cobrado na refinaria. Esse valor, por sua vez, foi definido de maneira exógena pela Petrobrás no início do período em análise e passou a refletir as cotações internacionais do petróleo nos últimos anos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de definir qual é a melhor opção para controle dos fatores não observáveis, foi realizado o teste de Hausman. O referido procedimento em sua hipótese nula considera que o modelo com efeitos aleatórios é mais indicado. Assim, o resultado do teste, apresentado na Tabela 2, sugere o uso do modelo de efeitos fixos.

Tabela 2. Resultado Teste de Hausman

Estatística χ^2	p-valor	Resultado
176,49	0,0000	Rejeita-se a hipótese nula

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos

Concluída essa etapa, foram estimados os modelos espaciais de efeitos fixos SLX, SDM e SDEM para a obtenção dos resultados. De modo a atestar a consistência e robustez dos valores obtidos, as estimativas dos parâmetros dos modelos espaciais com dados em painel e efeitos aleatórios também são apresentadas ao longo desta seção.

Para confirmar a necessidade do uso de modelos espaciais, foi realizado o teste de Pesaran, que avalia a dependência entre as unidades *cross-section*. O referido procedimento possui como hipótese nula a ausência de dependência especial. Os resultados do teste são apresentados na Tabela 3 e o *p-valor* obtido indica a rejeição da hipótese nula, atestando, portanto, a necessidade de incorporação dos efeitos espaciais nos modelos estimados.

Tabela 3. Resultado teste de Pesaran

Estatística Z	p-valor	Resultado
17,6150	0,0000	Rejeita-se a hipótese nula

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos.

Para selecionar as variáveis que serão defasadas espacialmente, adotou-se uma análise da possível presença de autocorrelação. Como pode ser observado na Tabela 4, os valores obtidos para a matriz de correlação indicam que o preço e o preço defasado espacialmente (*Wpreço*) possuem uma elevada correlação (coeficiente atingiu 0,901). Essa característica pode ter sido influenciada pelo controle de preços realizado no País em boa parte do período em análise.

Diante desses resultados e da baixa significância estatística da variável *Wpreço* nos modelos estimados preliminarmente, optou-se pela manutenção das seguintes variáveis nas versões finais dos sistemas: *preço*, *renda*, *agro*, *Wrenda* e *Wagro*.

Essas variáveis defasadas espacialmente retratam, pela escolha da matriz de ponderação espacial, a média dos vizinhos diretos daquela determinada região. Sendo assim, cada variável com o *W* anterior a ela representa a referida variável defasada espacialmente.

Tabela 4. Matriz de correlação com variáveis defasadas espacialmente

	consumo	preço	renda	agro	Wconsumo	Wpreço	Wrenda	Wagro
consumo	1	0,066	0,202	0,767	0,643	0,036	0,414	0,696
preço	-	1	-0,106	0,091	0,037	0,901	-0,132	-0,003
renda	-	-	1	0,074	0,463	-0,125	0,627	0,379
agro	-	-	-	1	0,561	0,013	0,346	0,622
Wconsumo	-	-	-	-	1	0,026	0,674	0,865
Wpreço	-	-	-	-	-	1	-0,119	0,043
Wrenda	-	-	-	-	-	-	1	0,562
Wagro	-	-	-	-	-	-	-	1

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos.

Seguindo o procedimento descrito por Halleck Vega e Elhorst (2015), foram estimados na sequência os modelos SLX, SDM e SDEM. Os resultados obtidos para as três especificações dos modelos, tanto para o painel de efeitos fixos quando para o de efeitos

aleatórios, são apresentados nas Tabelas 5 e 6. A equação IV retrata uma versão genérica das equações estimadas nas três versões dos modelos.

$$\begin{aligned} \ln Cons_{it} &= \rho W \ln Cons_{it} + \beta_0 + \beta_1 \ln Preço_{it} + \beta_2 \ln Renda_{it} + \beta_3 \ln Agro_{it} \\ &+ \tau_1 W \ln Renda_{it} + \tau_2 W \ln Agro_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \\ \xi_{it} &= \lambda W \xi_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (IV)$$

Tabela 5. Resultados dos modelos com base em efeitos fixos

	EF	SLX-EF	SDM-EF	SDEM-EF
ρ	-	-	0,0129	-
λ	-	-	-	0,0565
β_1	-0,4908***	-0,5275***	-0,5226***	-0,5368***
β_2	0,6072***	0,4247***	0,4235***	0,4182***
β_3	0,0821*	0,1471***	0,1476***	0,1487***
τ_1	-	0,2361*	0,2281*	0,2398*
τ_2	-	-0,1575**	-0,1584**	-0,1609**

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos. **Nota:** símbolos *, ** e *** denotam, respectivamente, nível de significância estatística de 10%, 5% e 1%.

Tabela 6. Resultados dos modelos com base em efeitos aleatórios

	EA	SLX-EA	SDM-EA	SDEM-EA
ρ	-	-	0,0666	-
λ	-	-	-	0,0577
β_0	-0,6876	-0,6705	-0,4559	-0,5097
β_1	-0,4680***	-0,4905***	-0,4831***	-0,5156***
β_2	0,5701***	0,3546***	0,3742***	0,3764***
β_3	0,1411***	0,1872***	0,1739***	0,1727***
τ_1	-	0,2736**	0,2216*	0,2623**
τ_2	-	-0,1222*	-0,1459**	-0,1409**

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos. **Nota:** símbolos *, ** e *** denotam, respectivamente, nível de significância estatística de 10%, 5% e 1%.

Os resultados das Tabelas 5 e 6 para os parâmetros de defasagem na variável explicada, ρ , e nos erros, λ , indicam que eles não foram estatisticamente significativos. Esses valores evidenciam, portanto, que os impactos espaciais foram controlados de maneira eficiente pelo modelo SLX.

A despeito dessa indicação do modelo SLX como o mais apropriado para a explicação do fenômeno em análise, é importante mencionar que foi observada certa estabilidade nas elasticidades estimadas pelos diferentes modelos espaciais, considerando não apenas a estimação por efeitos fixos, mas também por efeitos aleatórios.

A elasticidade preço da demanda por diesel foi estatisticamente significativa em todas as versões estimadas e variou de -0,5368 a -0,4831. A elasticidade renda, por sua vez, apresentou uma oscilação um pouco maior, com parâmetros entre 0,3546 e 0,6072. Essa

variação, entretanto, não é suficiente para alterar a interpretação dos resultados, que atestam a baixa elasticidade renda da demanda por diesel no mercado nacional.

Apresentada essa análise para evidenciar a robustez dos parâmetros estimados, cabe um maior detalhamento dos resultados do modelo selecionado. Nesse contexto, a equação V traz a representação do modelo SLX estimado por meio de dados em painel com efeitos fixos (SLX-EF) e, na Tabela 7, se encontra um detalhamento dos parâmetros estimados.

$$\ln Cons_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln Preço_{it} + \beta_2 \ln Renda_{it} + \beta_3 \ln Agro_{it} + \tau_1 W \ln Renda_{it} + \tau_2 W \ln Agro_{it} + \varepsilon_{it} \quad (V)$$

Tabela 7. Resultados do modelo SLX-EF

	Valor estimado (β_k)	Desvio-padrão do erro	p-valor
$\ln Preço_{it} (\beta_1)$	-0,5275	0,0659	0,0000***
$\ln Renda_{it} (\beta_2)$	0,4247	0,1032	0,0000***
$\ln Agro_{it} (\beta_3)$	0,1471	0,0389	0,0002***
$W \ln Renda_{it} (\tau_1)$	0,2361	0,1062	0,0268*
$W \ln Agro_{it} (\tau_2)$	-0,1575	0,0511	0,0022**
$R^2=0,6087$			

Fonte: Elaboração própria com dados obtidos. **Nota:** símbolos *, ** e *** denotam, respectivamente, nível de significância estatística de 10%, 5% e 1%.

As elasticidades preço estimadas sugerem que a demanda por diesel é inelástica, com parâmetros variando entre -0,5368 a -0,4680 nos modelos estimados, atingindo -0,5275 no modelo SLX-EF.

Esse resultado já era esperado devido à essencialidade do bem e à ausência de produtos substitutos ao diesel no mercado nacional. Essa característica corrobora os resultados disponíveis na literatura sobre o tema.

Na comparação com resultados encontrados por Dahl (2012), a elasticidade obtida ficou mais próxima daquela encontrada em países com menor poder aquisitivo e maior preço do derivado.

Os valores obtidos também estão alinhados com aqueles estimados por outros estudos conduzidos no mercado brasileiro. Conforme discussão apresentada na revisão de literatura, todos os estudos realizados no mercado doméstico confirmam a baixa sensibilidade da demanda por diesel a variações no preço do produto.

Essa característica atesta o reduzido potencial de redução do consumo do produto diante de medidas de precificação de carbono para a redução de emissões. Especialmente no mercado nacional, a baixa elasticidade preço da demanda pelo derivado também explica o uso recente de tributos federais para ampliação da arrecadação e redução do *déficit* fiscal no País.

No tocante à resposta da demanda a alterações na renda disponível, os valores encontrados se situaram no intervalo entre 0,3546 e 0,6072. O valor encontrado no modelo SLX-EF atingiu 0,4247.

Portanto, assim como no caso do preço, é possível concluir que a demanda



por diesel também é inelástica em relação à renda.

Os parâmetros obtidos são próximos daqueles disponíveis na literatura internacional. No caso dos estudos que avaliaram o mercado nacional, apenas os trabalhos de Cardoso e Jesus (2018) e Iooty et al. (2009) encontraram parâmetros levemente superiores a uma unidade.

Cabe ressaltar que uma das principais diferenças entre o Brasil e os demais países na análise da demanda de diesel é a importância do agronegócio no consumo desse combustível. De fato, todos os modelos identificaram uma relação direta e estatisticamente significativa entre o consumo de diesel e o valor da produção do agronegócio.

Os parâmetros encontrados variaram entre 0,0821 e 0,1872, evidenciando que qualquer aumento na produção da agropecuária nacional deverá repercutir em maior consumo por diesel no País. Essa constatação é especialmente importante para direcionar investimentos em logística, visto que a produção do agronegócio cresce em regiões mais distantes dos centros de produção ou de importação do derivado.

Outra contribuição do presente trabalho refere-se à identificação do efeito espacial das variáveis *renda* e *agro*. Nesse sentido, os parâmetros estimados devem ser lidos como o impacto do consumo em um determinado estado em decorrência da variação dessa variável nos Estados vizinhos. Devido à escolha da matriz de ponderação espacial, essa média retrata a condição dos vizinhos diretos, conforme ilustrado na Figura 5.

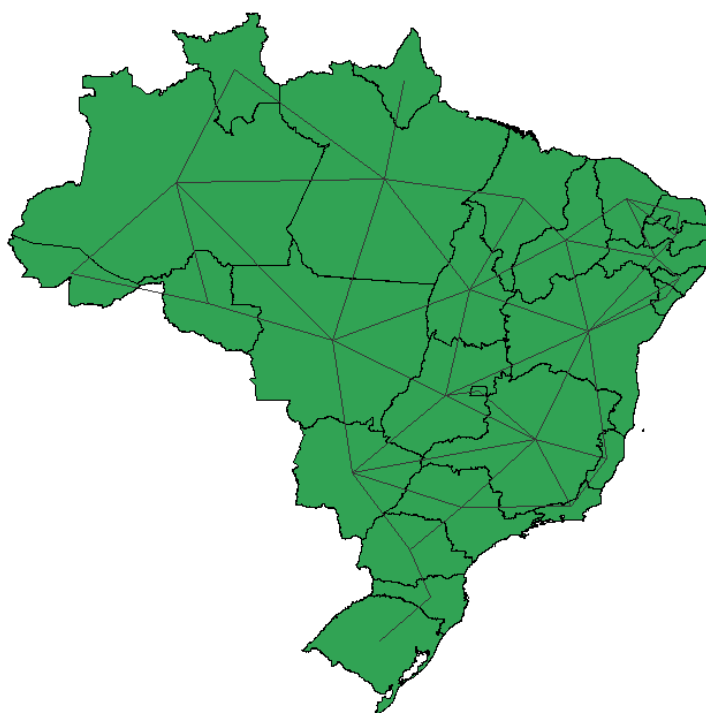


Figura 5. Gráfico de conectividade
Fonte: Elaboração própria com dados obtidos

Os parâmetros estimados para a variável defasada *renda* estão no intervalo entre 0,2216 e 0,2736. A significância estatística observada nos resultados indica

que o aumento do consumo em um estado específico está relacionado com uma elevação da renda nos estados vizinhos.

A magnitude dessa elasticidade renda dos vizinhos para o modelo SLX-EF foi de 0,2361. Isso sugere que se houver um aumento de 1% na renda média dos estados vizinhos, o consumo no estado em análise irá aumentar em cerca de 0,2361%.

A outra variável defasada espacialmente foi aquela utilizada para representar a produção do agronegócio. Em todos os modelos estimados, essa variável foi estatisticamente significativa e os parâmetros obtidos variaram entre -0,1609 e -0,1222. No caso do modelo escolhido, esse parâmetro atingiu -0,1575.

O sinal negativo dos parâmetros indica uma característica de competição pelo consumo. Assim, o aumento da produção agrícola média dos vizinhos tende promover uma redução relativa no consumo de diesel no estado em análise.

Em síntese, os resultados atestam que o consumo de diesel pode crescer nos próximos anos em decorrência de quedas no preço real do produto, de aumento na renda disponível ou de maior produção da agropecuária.

Os resultados obtidos trazem indicações importantes para o direcionamento de investimentos e ações dos agentes privados envolvidos nesse mercado. Adicionalmente, podem ser utilizados para o delimitar políticas públicas visando à manutenção da regularidade no abastecimento ou mesmo diretrizes para a expansão da produção doméstica.

No caso do abastecimento, por exemplo, o uso dos parâmetros obtidos para a estruturação de cenários sobre o consumo do derivado é fundamental para dimensionar a necessidade de biodiesel utilizado em mistura com o diesel fóssil ou as metas de descarbonização preconizadas pela recém-criada Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo se buscou investigar o comportamento da demanda de diesel nos Estados brasileiros.

As elasticidades encontradas sugerem que a demanda pelo derivado no Brasil é inelástica em relação a preço e a renda, com os parâmetros estimados atingindo -0,5275 e 0,4247, respectivamente. Esses valores corroboram aqueles encontrados por outros estudos para o mercado nacional e não apresentam divergência em relação aos trabalhos que investigaram o mesmo mercado em outros países.

Apesar desse alinhamento em relação à sensibilidade da demanda a variações na renda e no preço do diesel, uma característica peculiar do mercado nacional que não encontra paralelo em estudos disponíveis para outros países refere-se ao impacto do agronegócio no consumo do derivado.

Os resultados obtidos atestam que o aumento de 1% na produção agropecuária de um determinado estado promove, em média, uma elevação de 0,1471% no consumo de diesel.



Adicionalmente, os modelos estimados indicaram a presença de correlação espacial na demanda pelo derivado entre os Estados da federação. Especificamente, as variáveis renda e agro defasadas espacialmente apresentaram elasticidades de 0,2361 e -0,1575, respectivamente.

Portanto, embora o uso de dados agregados por Estado possa ter limitado as evidências dos efeitos espaciais, os resultados permitem afirmar que políticas públicas Estaduais voltadas para ampliação da renda ou para estímulo/desestímulo ao agronegócio devem influenciar não apenas o consumo de diesel no Estado em que tais políticas foram aplicadas, mas também a demanda pelo combustível nos Estados vizinhos.

Esses resultados ampliam o entendimento da demanda por diesel na literatura sobre o tema, além de serem úteis para o melhor planejamento setorial por parte dos agentes que atuam no Brasil.

É necessário ressaltar, ainda, que as informações aqui geradas possuem potencial de serem utilizadas na formulação de políticas públicas voltadas ao mercado nacional de diesel. Assim como já discutido ao longo do trabalho, o comportamento e garantia de suprimento do derivado é crucial para dinâmica logística do país.

Por fim, é preciso reconhecer que este estudo, apesar de ampliar o entendimento do fenômeno, não esgota o tema. Novos trabalhos voltados para a análise do consumo de diesel no país com dados desagregados por município e com a incorporação de novas variáveis são fundamentais para a melhor compreensão da problemática aqui abordada.

REFERÊNCIAS

Agility Logistics, 2019, disponível em: <<https://www.agility.com/pt-pt/homepage/>>. Acessado em: 18/04/2019

ALMEIDA, E. L. F.; OLIVEIRA, P. V.; LOSEKANN, L. Impactos da contenção dos preços de combustíveis no Brasil e opções de mecanismos de precificação. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 35, n. 3, p. 531-556, 2015.

ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas-SP: Alínea, 2012

ANP, 2019, disponível em: <www.anp.gov.br>. Acessado em 14/03/2019

ANSELIN, L.; FLORAX, R.; REY, S. J. (Ed.). **Advances in spatial econometrics: methodology, toMQO and applications**. Springer Science & Business Media, 2013.

ANTAQ, 2019, disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/anuario/>>. Acessado 11/06/2019

Biodieselbr, 2019, disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/biocombustivel/negocio/importacao-de-diesel-volta-a-superar-marca-de-1-bilhao-de-litros-070519>>. Acessado em 20/06/2019

BRASIL. Ministério da Indústria e Comércio. Portaria nº. 346, de 19 de novembro de 1976 regulamenta a comercialização de veículos movidos a motores com diesel.

CARDOSO, L. C. B.; BITTENCOURT, M. V. L.; PORSSE, A. A. Demanda por Combustíveis Leves no Brasil : uma abordagem utilizando painéis espaciais dinâmicos . **Anpec**, p. 1–20, 2014.

CARDOSO, L. C. B.; JESUS, C. S. DE. Elasticidades da Demanda por Diesel no Brasil. **Anpec**, p. 1–20, 2018.

CNT, 2019, disponível em: <<https://www.cnt.org.br/home>>. Acessado em 18/04/2019

DAHL, C. A. Measuring global gasoline and diesel price and income elasticities. **Energy Policy**, v. 41, p. 2–13, 2012.

ELHORST, J. P. **Spatial econometrics: from cross-sectional data to spatial panels**. Heidelberg: Springer, 2014.

Equipe de Desenvolvimento do QGIS (2019). Sistema de Informações Geográficas do QGIS. Projeto Código Aberto Geospatial Foundation. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.

ESALQ-LOG/ANTT, 2019, disponível em: <<https://participantt.antt.gov.br/Site/AudienciaPublica/VisualizarAvisoAudienciaPublica.aspx?CodigoAudiencia=378>>. Acessado em: 18/04/2019

FGV, 2019, disponível em: <<https://portalibre.fgv.br/>>. Acessado em 07/03/2019

GREENE, W. H. **Econometric analysis 7th edition**. International edition, New Jersey: Prentice Hall, 2012.

GONZÁLEZ-MARRERO, R. M.; LORENZO-ALEGRÍA, R. M.; TENERIFE, S. C. DE. A Dynamic Model for Road Gasoline and Diesel Consumption : An Application for Spanish Regions. **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 2, n. 4, p. 201–209, 2012.

HALLECK VEGA, S.; ELHORST, J. P. The SLX model. **Journal of Regional Science**, v. 55, n. 3, p. 339-363, 2015.

HUNTINGTON, H. G.; BARRIOS, J. B.; ARORA, V. Review of Key International Demand Elasticities for Major Industrializing Economies. **Energy Modeling Forum Stanford University**, 2017.

IBGE, 2019, disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 06/04/2019

IOOTY, M.; PINTO Jr, H.; EBELING, F. Automotive fuel consumption in Brazil: Applying static and dynamic systems of demand equations. **Energy Policy**, 2009.

LUZ, M. R. Modelo de projeção de demanda de diesel no Brasil: Uma análise nacional e regional. **FGV Tese de Doutorado**, 2015.

PISA, V. The demand for motor fuels in the central european region and its impacts on indirect tax revenues. **Charles University Prague, Faculty of Humanities**, 2012.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <<https://www.R-project.org/>>.

REIS, M. T. Análise do Consumo de Combustíveis Líquidos e Emissões no Setor de Transportes no Brasil. **POLI/UFRJ**, 2016.

SANTOS, G. F.; FARIA, W. R. Spatial Panel Data Models and Fuel Demand in Brazil. **Texto para Discussão Nereus**, v. 10–2012, 2012.

WOOLDRIDGE, J. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**, MIT Press, 2002.

ZIMMER, A.; KOCH, N. IMPLICATIONS OF FUEL TAX REFORMS FOR AIR POLLUTION AND. **Available at SSRN 2813534**, 2016.