

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES
INSTITUTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

EDUARDA TERRA DO ESPIRITO SANTO

**ELASTICIDADE PREÇO E RENDA DA DEMANDA DE ENERGIA EM
SETORES DA INDÚSTRIA BRASILEIRA ENTRE 1995 A 2019**

**Governador Valadares
2022**

Eduarda Terra do Espirito Santo

**ELASTICIDADE PREÇO E RENDA DA DEMANDA DE ENERGIA EM
SETORES DA INDÚSTRIA BRASILEIRA ENTRE 1995 A 2019**

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares, como requisito para obtenção de título de Bacharel em Ciência Econômicas.

Orientador: Prof. Thiago Costa Soares

**Governador Valadares
2022**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Terra do Espírito Santo, Eduarda.

Elasticidade preço e renda da demanda de energia em setores da indústria brasileira entre 1995 a 2019 / Eduarda Terra do Espírito Santo. – 2022.

28 f.

Orientador: Thiago Costa Soares

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Faculdade de Economia, 2022.

1. Demanda. 2. Energia. 3. Indústria Brasileira. 4. Elasticidade. 5. Dados em painel. I. Costa Soares, Thiago, orient. II. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA****ECO013GV MONOGRAFIA II
ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Às 10 horas do dia 05 de Agosto de 2022, (x) na sala 402 () por webconferência, foi instalada a banca do exame de Trabalho de Conclusão de Curso para julgamento do trabalho desenvolvido pelo(a) discente Eduarda Terra do Espírito Santo, matriculado(a) no curso de bacharelado em Ciências Econômicas. O(a) Prof.(a) Thiago Costa Soares, orientador(a) e presidente da banca julgadora, abriu a sessão apresentando os demais examinadores, o professor: Luckas Sabioni Lopes.

Após a arguição e avaliação do material apresentado, relativo ao trabalho intitulado: Elasticidade preço e renda da demanda de energia em setores da indústria brasileira entre 1995 a 2019, a banca examinadora se reuniu em sessão fechada considerando o(a) discente:

- () Aprovado (a)
- (x) Aprovado (a) com correções
- () Reprovado (a)

Nada mais havendo a tratar, foi encerrada a sessão e lavrada a presente ata que vai assinada pelos presentes.

Governador Valadares, 16 de Agosto de 2022.

Orientador(a)

Membro da Banca I

Membro da Banca II (opcional)

Aluno (a)



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Costa Soares, Professor(a)**, em 16/08/2022, às 09:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luckas Sabioni Lopes, Professor(a)**, em 16/08/2022, às 09:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0909077** e o código CRC **0303214A**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a minha família por todo apoio e motivação no decorrer desses cinco anos longe de casa. Tenho muita gratidão ao meu pai, Walter, por sempre priorizar minha educação e pelos seus esforços em me tornar a pessoa que sou hoje. E a minha mãe Alessandra, por sempre acreditar no meu potencial. Deixo meus agradecimentos ao meu parceiro de vida Bruno, por ter sido presente e tornar minha vida mais leve. Agradeço a dedicação de todos meus professores, me sinto honrada por ter sido formada por profissionais incríveis como vocês. Especialmente ao meu orientador Thiago, pela paciência e empenho na condução do meu trabalho. Por fim, aos meus amigos, que foram (e são) minha segunda família, sentirei saudades dos momentos junto de vocês.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar as elasticidades-preço e renda da demanda de energia de setores da indústria brasileira entre 1995 e 2019, utilizando dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE). A estratégia empírica consistiu em estimar a função de demanda por energia da indústria através do Método dos Momentos Generalizado (GMM). Os principais resultados mostraram que o consumo energético industrial é inelástico ao preço e à renda. A baixa sensibilidade da demanda por energia às referidas variáveis pode estar associada à diversidade de fontes energéticas e de insumos utilizados pela indústria nacional. Nesse sentido, a pesquisa concluiu que políticas econômicas e energéticas voltadas para a indústria brasileira (como de incentivos produtivos, eficiência energética, políticas de preço da energia etc.) devem considerar a influência da diversidade energética no modelo produtivo desse segmento.

Palavras-chave: Demanda. Energia. Indústria Brasileira. Elasticidade. Dados em painel.

ABSTRACT

This work aims to analyze the price and income elasticities of energy demand in Brazilian industry sectors between 1995 and 2019, using data from the Empresa de Pesquisa Energética (EPE). The empirical strategy consisted of estimating the energy demand function of the industry through the Generalized Method of Moments (GMM). The main results showed that industrial energy consumption is inelastic to price and income. The low sensitivity of energy demand to the aforementioned variables may be associated with the diversity of energy sources and inputs used by the national industry. In this sense, the research concluded that economic and energy policies aimed at the Brazilian industry (such as productive incentives, energy efficiency, energy price policies, etc.) should consider the influence of energy diversity in the production model of this segment.

Keywords: Demand. Energy. Brazilian industry. Elasticity. Panel data.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Consumo de energia do setor industrial por fontes, de 1970 a 2020	11
Tabela 2 - Descrição das Variáveis	17
Tabela 3 - Crescimento em % do consumo, preço e PIB para os anos de 1995 a 2019 dos setores industriais.....	19
Tabela 4 - Resultado do modelo empírico.....	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo e preço da energia dos setores industriais, 1995 a 2019.....	18
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
3 METODOLOGIA	15
3.1 MODELO EMPÍRICO	15
3.2 BASE DE DADOS	16
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	18
4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS	18
4.2 RESULTADOS DO MODELO EMPÍRICO	20
5 CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	25
APÊNDICE A – Resultado dos Testes	28

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e social. Ele reflete o ritmo de atividade nos setores industrial, comercial e de serviços, além da capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis, eletrodomésticos e eletroeletrônicos (ANEEL, 2008). Por essa razão, a demanda por energia pode ser considerada um fator de revelada importância social (PEREIRA *et al.*, 2008).

Reis (2011) reforça que a energia possui um papel fundamental para o desenvolvimento de um país. Para Costa (1996), um país necessita de uma política energética bem estruturada e que garanta autonomia para seus setores produtivos se desenvolverem. Portanto, estudos sobre o setor são importantes, dado que as economias que melhor se posicionam quanto ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental obtêm importantes vantagens comparativas (TOLMASQUIM *et al.*, 2007).

Estudos recentes mostraram que há uma tendência de expansão do consumo energético¹ no Brasil desde os anos 1970 (Balanço Energético Nacional - BEN, 2019). Durante esse período, o setor que apresentou a maior participação média no total demandado de energia foi a indústria. Para ilustrar, dados desagregados por segmentos mostram que a indústria brasileira foi responsável por 32,3% do consumo energético nacional em 2021. Estima-se que a participação desse setor no produto interno bruto (PIB) tenha sido de 20% no mesmo período (IBGE, 2019). Portanto, o setor industrial brasileiro pode ser considerado um consumidor expressivo de energia e uma importante atividade econômica no Brasil.

O consumo energético da indústria é abastecido por diversas fontes. Como destaca-se na Tabela 1, na década de 1970 a fonte energética mais utilizada pela indústria foi o óleo combustível. Após a primeira “Crise do Petróleo”², o governo brasileiro passou a ter como objetivo estimular o aumento da produção de petróleo nacional, a diversificação de fontes alternativas de energia para substituição de derivados de petróleo e a redução do consumo de derivados de petróleo de uma maneira geral (PECCININI, 1993). Desse modo, durante toda a década de 1970 até a segunda metade da década de 1980, as atenções foram voltadas para a

¹ Neste trabalho o consumo de energia refere-se as fontes que são utilizadas pela indústria brasileira para seu abastecimento. Sendo eles: óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural combustível, eletricidade industrial, carvão vegetal e lenha nativa.

² Entre outubro de 1973 e março de 1974, o preço do petróleo aumentou 400%, causando reflexos nos Estados Unidos da América (EUA) e na Europa e desestabilizando a economia por todo o mundo (LIMA, 1977).

redução de desperdícios e a substituição do petróleo pela energia elétrica nas indústrias (DIAS *et al.*, 2000).

Verifica-se que a energia hidráulica (eletricidade) e o gás natural foram as fontes energéticas com maior crescimento na participação do consumo energético da indústria desde então (Tabela 1). Os cenários de tendências construídos por estudos apontam que o setor industrial deverá permanecer como o principal consumidor de gás natural e eletricidade nos próximos anos. Neste último, estima-se que a indústria será responsável por 42% já em 2030 (TOLMASQUIM *et al.*, 2007). Dessa forma, compreender a dinâmica do consumo energético da indústria é um fator importante para o planejamento energético e econômico nacional.

Tabela 1- Consumo de energia do setor industrial por fontes, de 1970 a 2020

Fontes de Energia	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Gás Natural	0,0	0,9	3,2	6,4	10,5	8,8
Carvão Mineral	0,4	1,3	2,3	3,7	3,8	4,0
Lenha	24,0	9,3	12,4	8,8	8,4	8,8
Bagaço de Cana	17,8	12,8	10,5	13,0	20,3	22,1
Outras Renováveis	0,8	2,0	3,4	4,6	6,8	9,6
Outras Não Renováveis	-	-	0,1	0,4	0,3	0,3
Óleo Combustível	30,3	34,7	15,6	11,7	3,8	1,7
Gás de Coqueria	1,0	1,3	2,0	1,5	1,5	1,3
Coque de Carvão Mineral	6,8	8,5	11,8	10,7	8,8	8,4
Eletricidade	9,8	15,6	22,2	20,8	20,5	20,8
Carvão Vegetal	6,4	9,0	12,5	7,2	4,7	4,2
Outras	2,8	4,6	4,2	11,3	10,6	9,9
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaboração própria. Empresa Pesquisa Energética (2021).

Diversos estudos buscaram analisar o consumo energético nas literaturas internacional [Kulshreshtha e Parikh (2000), Liu (2004), Montfort e Lise (2005) e outros] e nacional [Modiano (1984), Schmidt e Lima (2004), Siqueira *et al.* (2005), Mattos (2005), Irfi *et al.* (2009) e outros]. Em geral, os trabalhos apontam que existe uma relação existente entre o

consumo de energia, preços e renda no longo prazo, além de verificarem que o consumo de energia tende a ser menos sensível ao preço que a renda.

Em relação às pesquisas nacionais, não há estudos que cobrem o período mais recente da economia brasileira, caracterizado pela diminuição paulatina da indústria no PIB, em um cenário de instabilidades econômicas, políticas e institucionais (NUNES *et al.*, 2020). Ademais, não foram encontrados na literatura consultada pesquisas que consideraram a diversificação do consumo energético industrial nos modelos de demanda.

Desse modo, o objetivo deste estudo foi estimar e analisar as elasticidades preço e renda do consumo energético da indústria brasileira entre os anos de 1995 e 2019, no intuito de compreender melhor a dinâmica da demanda por energia desse segmento. Para tanto, empregou-se o Método dos Momentos Generalizados (GMM) em uma estrutura em painel dinâmico.

Além desta introdução, este trabalho se divide em outras quatro seções. A segunda seção descreve a literatura correlata. A terceira seção apresenta a metodologia e os dados utilizados pelo estudo. Na quarta seção, são reportados os resultados e as discussões. Por fim, na quinta seção apresenta-se as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Berndt e Wood (1975), a demanda por energia é resultado da necessidade de produção das indústrias, portanto, ela é considerada um fator característico do processo. Por essa razão, o consumo energético pode representar um insumo para a cadeia produtiva das mais diversificadas indústrias. Para ilustrar, essa variável é analisada por muitos estudos em funções de produção, a exemplo das pesquisas de Pindyck (1979) e Kemfert (1998).

No cenário internacional, alguns trabalhos se destacam na estimação das elasticidades para o consumo de energia da indústria. Conceitualmente, a elasticidade-preço da demanda indica a relação entre a demanda e as possíveis mudanças de preços, enquanto a elasticidade renda mede a variação percentual que ocorre na quantidade demandada quando a renda dos agentes varia em percentual. De uma maneira geral os autores obtiveram resultados que indicam que a demanda de energia é menos sensível ao preço do que a renda.

Kulshreshtha e Parikh (2000) estimaram uma equação de demanda de carvão para os diferentes setores industriais na Índia. Os autores utilizam um modelo de cointegração para estudar a relação entre consumo de carvão, preço e produção industrial. A conclusão é que a demanda de carvão é mais sensível às mudanças no valor agregado da indústria do que às mudanças nos preços do carvão.

Liu (2004) realizou um trabalho através de dados em painel para estimar as elasticidades-preço e renda da energia elétrica, óleo diesel e gás natural nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), no período de 1978 a 1999, para os segmentos industrial, comercial e residencial. Aplicando o Método GMM proposto por Arellano e Bond (1991), o autor fez uma comparação entre as estimativas construídas em painel com efeitos fixos, efeitos aleatórios e dinâmico. Os resultados encontrados para as elasticidades preço e renda foram de -0,013 e 0,300 da demanda industrial por energia elétrica.

Montfort e Lise (2005) analisaram a relação entre o consumo de energia e o PIB para a Turquia por meio de técnicas de cointegração. Esse estudo evidenciou que as variáveis são cointegradas e apresentam relação estável de longo prazo. A partir do modelo de correção de erros, os autores estimaram a elasticidade renda em 1,96.

Na literatura nacional, os primeiros estudos que analisaram a demanda de energia na indústria datam da década de 1980. Modiano (1984) estimou por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) as elasticidades-preço e renda da demanda para as três principais classes consumidoras: residenciais, comerciais e industriais. O autor verificou que as elasticidades-preço e renda de longo prazo da indústria foram de -0,22 e 1,360.

Os estudos de Andrade e Lobão (1997) e Schmidt e Lima (2004) remodelaram as estimativas do trabalho pioneiro feito por Modiano (1984), uma vez que os resultados obtidos por MQO podem conduzir a estimativas inconsistentes na presença de regressores endógenos, como a variável preço. Os dois trabalhos utilizaram um modelo econométrico para estimar a quantidade demandada de energia elétrica em função da tarifa de energia e da renda. Andrade e Lobão (1997) estimaram a demanda de energia elétrica residencial no Brasil através do MQO, com variáveis instrumentais (VI) e modelos de correção de erros (VEC) para o período de 1963-1995. Para a elasticidade-preço encontraram o valor de -0,06 para curto prazo e -0,051 para o longo prazo, e 0,212 para a elasticidade-renda de curto prazo e 0,213 longo prazo.

Schmidt e Lima (2004) estimaram a elasticidade-preço e renda de longo prazo da demanda por energia elétrica para os setores comercial, residencial e industrial. Eles chegaram aos valores de 0,636, 0,539 e 1,718 para a elasticidade renda de longo prazo por essa ordem, e para a elasticidade preço de longo prazo os valores foram -0,174, -0,085 e -0,129. Os autores utilizaram modelos autorregressivos com correção de erros (VAR/VEC) e elaboraram uma análise de cointegração a partir da metodologia de Johansen para a estimação das elasticidades e para a construção das previsões de consumo de energia elétrica.

Mattos e Lima (2005) estimaram a elasticidade renda e elasticidade preço para a demanda de energia elétrica no Brasil para os anos de 1974 a 2002. Os valores que ele estimou foram -0,489 para a elasticidade preço de longo prazo e 1,588 para a elasticidade renda de longo prazo. O modelo utilizado foi o VAR/VEC e, como a base de dados era posterior aos anos 2000, foi incluída uma variável dummy para o período de racionamento. Para apurar se as variáveis do modelo (PIB real, consumo de energia elétrica e tarifa média real) eram cointegradas, ele utilizou a metodologia de Engle-Granger e concluiu que as três variáveis são cointegradas.

O trabalho de Siqueira *et al.* (2006) buscou estimar o comportamento do consumo para a região do nordeste brasileiro de 1969-2004. Os autores estimam o consumo por energia através dos métodos clássicos e por VAR/VEC. Quanto aos resultados das elasticidades renda e preço dos bens intensivos em energia para o setor industrial, tem-se 1,181 e -0,471.

Irffi *et al.* (2009) estimaram a demanda de energia elétrica para as classes residencial, comercial e industrial na região Nordeste do Brasil, no período de 1970 a 2003, utilizando o método de Mínimos Quadrados Ordinários Dinâmicos (DOLS) e construíram cenários para o período de 2004 a 2010. Os resultados obtidos da elasticidade-preço e renda para a classe industrial foram, respectivamente, -0,4222 e 0,5746.

Conclui-se que, os estudos que foram realizados para o Brasil, encontram relações de longo prazo entre o consumo de energia e variáveis como a renda e os preços. Assim, como nos resultados obtidos na literatura internacional, verifica-se também que a indústria nacional foi inelástica em relação ao preço e que pode, ou não ser inelástica em relação à renda.

3 METODOLOGIA

3.1 MODELO EMPÍRICO

De modo geral, as análises da demanda de mercado por determinado bem ou serviço consideram a quantidade demandada como função do nível de renda e do preço do bem (MATTOS, 2005). Em decorrência das considerações feitas acima e assim como descrito nos trabalhos de Modiano (1984) e Schmidt e Lima (2004), o presente estudo considera que o consumo de energia da indústria possui relação com o preço e a renda, podendo ser representado por:

$$CE_{i,t} = f(PIB_{i,t}, PRE_{i,t}), \quad (1)$$

em que CE representa o consumo de energia, PIB é o produto interno bruto setorial e PRE refere-se ao preço da energia; i representa cada setor da indústria e t indica cada ano observado, entre o período de 1995 a 2019. A especificação empírica do modelo é descrita na expressão (2):

$$ce_{i,t} = \alpha_i + \varphi ce_{i,t-1} + \sum_{i=1995}^{2019} \alpha_t D_t + \beta_1 pib_{i,t} + \beta_2 pre_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

em que ce representa o logaritmo do consumo de energia, $ce_{i,t-1}$ é o logaritmo do consumo de energia defasado, que foi incluído para controlar um possível processo de inércia do consumo energético e outras variáveis omitidas; pib é o logaritmo do produto interno bruto dos setores; e pre é o logaritmo do preço médio da energia. O termo α_i representa a heterogeneidade não observada dos setores (invariante no tempo); D_t são *dummies* temporais que controlam eventos específicos ocorridos no período, como a “crise do apagão” e crises financeiras e fiscais do período; $\varepsilon_{i,t}$ é o erro idiossincrático com média zero, variância constante e não autocorrelacionado.

Segundo Goldemberg (2000), o consumo energético pode ser considerado um insumo do processo produtivo dos setores econômicos. Assim, é provável que a demanda por energia possua uma relação bicausal com o PIB na equação (2). Além disso, preço e quantidade demandada são considerados endógenos em funções de demanda. Por essa razão, estimou-se a

expressão (2) através do método dos momentos generalizados dinâmico em diferenças (*dynamic generalized method of moments* - GMM), que consiste na adoção de técnicas de variáveis instrumentais para o controle da endogeneidade do modelo (ARELLANO; BOND, 1991).

Para a estimação em GMM, os instrumentos adotados foram as variáveis explicativas defasadas, em nível e em diferenças, além das *dummies* temporais. A validade dos instrumentos e a consistência do modelo foram avaliadas pelo teste J de Sargan (1988) e de autocorrelação serial de ordens um e dois nos resíduos, proposto por Arellano & Bond (1991). A obtenção de uma estatística não significativa no teste J e resíduos com autocorrelação apenas de primeira ordem indicam a validade dos instrumentos e a consistência do modelo.

Adicionalmente, para analisar a propriedade de estacionariedade das séries, realizou-se o teste de raiz unitária Dickey-Fuller aumentado (ADF). Dickey e Fuller (1979) foram os pioneiros no desenvolvimento de testes para verificação de existência de raízes unitárias. No entanto, o primeiro teste formulado por eles apresentava um problema na medida do erro como um ruído branco. Por isso, para evitar distorções nos resultados, convencionalmente usa-se o segundo teste, ADF (BUENO, 2011). Foram realizados os testes com constante, com constante e tendência, e na primeira diferença, no qual considera como hipótese nula a presença de raiz unitária nos dados, indicando não estacionariedade (MATTOS, 2018). Os resultados do teste encontram-se na Tabela A do Apêndice.

3.2 BASE DE DADOS

Para a realização deste estudo, foram utilizados os dados do Balanço Energético Nacional produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para os anos de 1995 a 2019, de oito setores da indústria. A metodologia foi aplicada em uma base de dados considerada, tecnicamente, um painel longo e balanceado, pois apresenta o número de pontos no tempo superior ao número de unidades, em que cada unidade tem o mesmo número de observações no tempo (BECK, 2001).

No que diz respeito ao consumo energético, sabe-se que a matriz industrial brasileira é abastecida pelo uso de diversas fontes de energia (conforme mostra a Tabela 1). Neste estudo, as fontes de energia consideradas foram: óleo diesel, óleo combustível, gasolina, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural combustível, eletricidade industrial, carvão vegetal e lenha

nativa. Com base nos percentuais de participação de cada fonte energética no consumo total dos setores, criou-se uma variável agregada de consumo (em toneladas equivalentes de petróleo - tep) e de preço (em reais constantes de 2010). Sendo assim, essa variável corresponde a um único preço médio por setor da indústria, que foi estimado a partir de uma média ponderada entre a participação de cada fonte de energia sobre o consumo e o seu respectivo preço, para cada ano analisado.

Devido à disponibilidade de informações acerca das fontes de consumo energético, foi necessário agregar setores da indústria, de modo que os ramos considerados no estudo foram: metalurgia (ferro liga, ferro gusa e aço e não ferrosos), não metálicos (cimento e cerâmica), mineração e pelotização, química, têxtil, alimentação, bebidas e, por fim, papel e celulose. Essa distribuição setorial foi utilizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) conforme a distribuição estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Tabela 2 descreve as variáveis do estudo.

Tabela 2 - Descrição das Variáveis

<i>Variável</i>	<i>Descrição</i>	<i>Sigla</i>	<i>Fonte</i>
Consumo de energia	Consumo final energético (10 ³ tep) da indústria no Brasil	<i>CE</i>	Balanco Energético Nacional (BEN) capítulo 7 Energia e Socioeconomia
PIB (Produto Interno Bruto)	Produto interno bruto setorial, com distribuição feita pelo IBGE com valores em reais constantes de 2010, convertidos para dólares em paridade do poder de compra (PPC) de 2010	<i>PIB</i>	Balanco Energético Nacional (BEN) capítulo 7 Energia e Socioeconomia
Preço médio	Preço médio ponderado pela participação dos combustíveis no processo produtivo de cada setor	<i>PRE</i>	Balanco Energético Nacional (BEN) capítulo 3 Consumo de Energia por Setor e capítulo 7 Energia e Socioeconomia

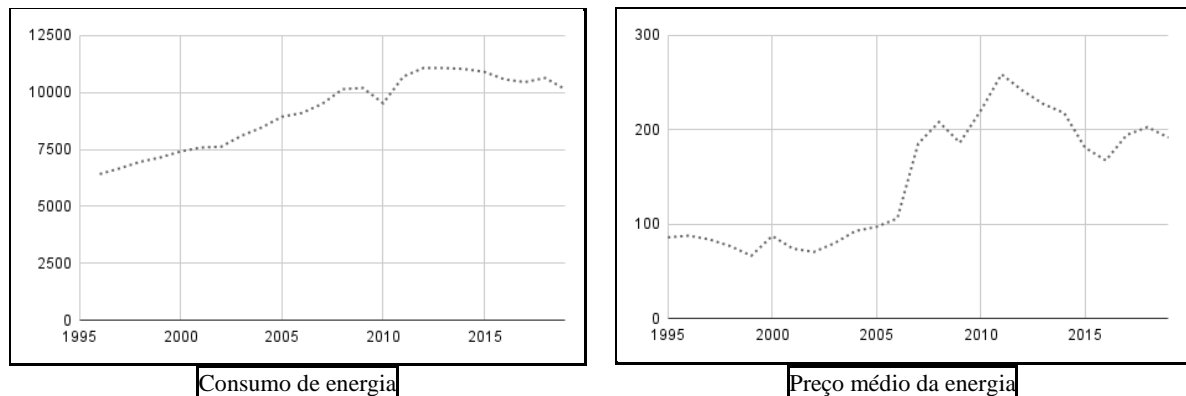
Fonte: Elaborado pela Autora.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

De uma maneira geral, as trajetórias do consumo e preços médios podem ser observadas na Figuras 1. Nos gráficos é possível observar que o consumo médio de energia segue uma tendência de crescimento ao longo do período analisado, de 1995 a 2019. Segundo dados do EPE (2019), o crescimento médio no consumo energético da indústria total foi de 1,73% durante o período observado. Ademais, o preço médio do setor industrial se manteve estável na primeira metade do período e somente após 2005 iniciou uma trajetória crescente.

Figura 1 - Consumo e preço da energia dos setores industriais, 1995 a 2019



Fonte: Elaboração própria. Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Nota: Consumo medido em 10³ tep; Preço: US\$ de 2010.

Em relação ao preço médio, no período de 2009 houve uma diminuição de 10,46% em relação ao ano de 2008. Esse movimento ocorreu devido à crise financeira de 2008. Nesse período, a queda da produção industrial foi mais intensa quando comparada à do PIB agregado. A produção industrial (na média trimestral) mostrou queda de 10,3% no quarto trimestre de 2008 frente ao trimestre anterior e de 5,9% no primeiro trimestre de 2009 (ÁVILA, 2012). No entanto, pode-se considerar que a indústria teve uma rápida recuperação econômica. Segundo Barbosa (2010), o governo brasileiro teria reagido à crise econômica com uma “sequência de ações expansionistas” fazendo com que a produção industrial voltasse ao ritmo de crescimento médio do país.

Individualmente, cada setor industrial apresentou comportamento distinto no período. A Tabela 3 mostra o crescimento médio do consumo, preço e PIB (por setor) para os setores industriais que foram analisados. Destaca-se que o setor de metalurgia e mineração apresentaram participações expressivas no consumo e no PIB brasileiro. Em contraposição, verifica-se que o setor têxtil perdeu relevância relativa nesses dois fatores.

Tabela 3 - Crescimento em % do consumo, preço e PIB para os anos de 1995 a 2019 dos setores industriais

Setor industrial	Consumo Médio	Variação Média Consumo	Preço Médio	Variação Média Preço	PIB Médio	Variação Média PIB
Mineração e pelotização	2.578	1,90%	222,43	1,64%	25.395	6,94%
Química	6.691	1,34%	233,70	2,35%	19.294	2,94%
Têxtil	1.079	-0,96%	146,98	7,40%	8.202	-3,53%
Alimentos e bebidas	18.602	2,16%	31,13	2,48%	47.628	0,58%
Papel e celulose	8.708	3,94%	62,51	2,06%	9.700	-1,03%
Metalurgia (ferro liga, gusa, não ferroso)	22.349	0,62%	133,66	4,20%	32.945	-1,13%
Não metálica (cimento e cerâmica)	7.480	2,07%	178,00	3,22%	12.619	-1,04%
Outras	6.170	1,99%	171,12	3,66%	318.142	0,56%

Fonte: Elaboração própria. Consumo: 10³ tep. Preço: BR/US\$. PIB: 106 US\$ppc (2010).

O setor de metalurgia registrou o maior consumo médio de energia em comparação aos setores estudados, com crescimento de 0,62% ao ano. Por outro lado, o setor que apresentou maior crescimento médio do consumo de energia foi o de papel e celulose, com média de 3,94%. A importância relativa da indústria de papel e celulose no consumo energético escalou de forma expressiva no período, saltando de 5% em 1970 para 16% em 2019 (EPE, 2019). Os setores que apresentaram o menor consumo médio e a menor taxa de crescimento média de energia foram, respectivamente, o setor de mineração e pelotização e o têxtil.

Em relação aos preços, observa-se que o setor químico enfrentou o maior preço médio de energia (R\$233,70), com crescimento de 2,35% ao ano. No que diz respeito à variação dos preços, notou-se que o setor têxtil foi o mais afetado (crescimento de 7,40% ao ano). Esse resultado particular pode estar associado à baixa diversificação energética do segmento, que se

concentra no consumo de gás natural e eletricidade. Em razão do crescimento dos preços na indústria têxtil, Coelho *et al.* (2009) destacam que o setor tem se empenhado para construir estratégias de redução do consumo de energia em sua cadeia produtiva e de promoção da eficiência energética.

Em relação à produção, verifica-se que a maioria dos setores da indústria está estagnada, com crescimento pouco intenso (alimentos e bebidas e outras indústrias) ou negativo (têxtil, papel e celulose, metalurgia e não metálicos). Os setores industriais que apresentaram maior dinâmica econômica no período foram mineração e pelotização (6,94%) e a indústria química (2,94%).

4.2 RESULTADOS DO MODELO EMPÍRICO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados do modelo empírico. Primeiramente, foi realizado o teste de raiz unitária Fischer-ADF, considerando a presença de constante e tendência na equação. Os resultados indicaram que somente o PIB é estacionário a 5%. Em primeira diferença, todas as variáveis foram estacionárias a 1% (Tabela A, Apêndice).

Após verificar a condição de estacionariedade, estimou-se o modelo por GMM na primeira diferença. Como instrumentos, foram utilizadas as defasagens em nível e em diferenças das variáveis, além das *dummies* temporais. Os resultados são reportados na Tabela 4.

O teste J de Sargan foi não significativo a 10%. Além disso, verificou-se autocorrelação serial de primeira ordem significativa e um componente AR(2) não significativo. Desse modo, pode-se inferir os instrumentos são válidos e que o modelo é consistente do ponto de vista estatístico. Os resultados do modelo podem ser observados na Tabela 4.

Em relação aos coeficientes estimados, verificou-se que o consumo energético defasado, o preço e a renda foram significativos a 1% e que seus sinais foram condizentes com o esperado. Para ilustrar, estima-se que a elasticidade-preço da demanda por energia no setor industrial foi de -0,085. Esse resultado está alinhado à literatura nacional no que diz respeito à inelasticidade do consumo em relação ao preço da energia [ver Modiano (1984) e Schmidt e Lima (2004)]. Por outro lado, a magnitude do coeficiente estimado nesta pesquisa mostra que a sensibilidade ao preço pode ter decrescido ao longo do tempo.

Tabela 4 - Resultado do modelo empírico

<i>Variáveis</i>	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Estatística t</i>	<i>P-valor</i>
Δce_{t-1}	0,736	0,054	13,57	0,000
Δpib_t	0,109	0,032	3,41	0,001
Δpre_t	-0,085	0,035	-2,43	0,015
Estatística J	133,363			0,642
Teste de autocorrelação, Arellano & Bond (1991), ρ_1 e ρ_2				
AR(1)	-2,233			0,026
AR(2)	-0,264			0,792

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Instrumentos: $pib(-2)$, $ce(-2)$, $\Delta ce(-2)$, $\Delta pib(-2)$, $pre(-2)$, $\Delta pre(-2)$ e *dummies* temporais.

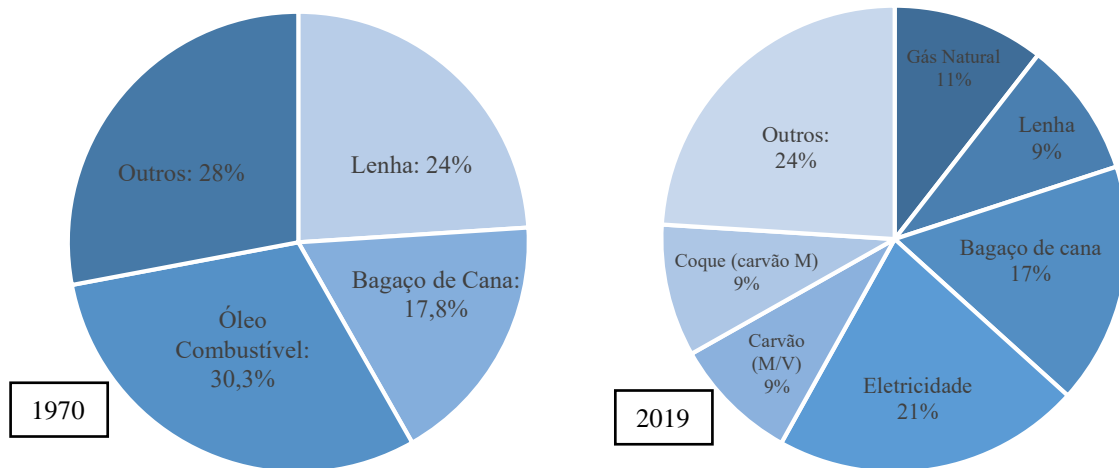
Cabe ressaltar que o consumo de energia observado na indústria nacional tem se tornado cada vez mais diversificado ao longo dos anos (Tabela 1). Por essa razão, choques de preço podem cada vez mais ser amortecidos através da substituição dos insumos energéticos. Isto é, os setores industriais, ao perceberem a elevação de preços de um determinado componente da matriz energética, podem buscar substituí-lo por outros relativamente menos custosos, diminuindo a sensibilidade do consumo em relação ao preço. A Figura 3 ilustra a participação das fontes de energia na indústria em 1970 e 2019.

Uma parte da inelasticidade do preço pode estar relacionada com a própria diversificação da oferta energética. Após a crise energética de abastecimento em 2001³, que ocorreu via aumento de tarifas e racionamento, o setor energético nacional promoveu investimentos em geração e diversificação das fontes de energia, a fim de tornar a oferta menos dependente de fatores climáticos e oscilações conjunturais dos mercados. Concretamente, o governo promulgou decretos específicos, a exemplo do Programa de Incentivo às Fontes de

³ A crise de energia de 2001, conhecida como “Crise do Apagão”, afetou o fornecimento e distribuição de energia elétrica em todo país todo, causando racionamento de energia (BARDELIN, 2004).

Energia Elétrica (Proinfa)⁴, criado para estimular a geração de fontes alternativas de energia (BARDELIN, 2004; CNI, 2001).

Figura 3. Participação das fontes de energia na produção industrial, 1970 e 2019



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados do estudo trazem implicações importantes no âmbito das políticas econômicas e energéticas. Por exemplo, dada a diversidade do consumo energético da indústria nacional, políticas de aumento da tarifa de uma fonte energética (como o carvão mineral) tendem a surtir poucos efeitos sobre o consumo agregado de energia. Isto ocorre porque grande parte dos setores possui substitutos energéticos diretos na estrutura produtiva. Consequentemente, essas políticas teriam implicações menos expressivas sobre a produção.

Em outras palavras, a diversidade de uso das fontes energéticas permite que os setores aloquem melhor seus recursos, conforme os preços relativos de mercado. Sendo assim, é possível dizer que a diversidade energética da indústria é essencial para manter o setor em crescimento, mesmo diante dos desafios apresentados pela agenda ambiental internacional, a qual estima uma redução acentuada do uso de combustíveis intensivos em emissões (como carvão, óleo combustível etc.) em favor dos energéticos renováveis (como hidroeletricidade, energia solar, bagaço da cana etc.).

⁴ PROINFA é a sigla para Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o qual foi criado pelo governo em 2002 (Lei nº 10.438/2002) com o objetivo de diversificar a matriz energética brasileira.

Em relação ao *pib*, verificou-se que a demanda energética também foi inelástica. Estima-se que uma expansão de 10 pontos percentuais (p.p) na taxa de crescimento da produção estimule um aumento de 0,11 p.p. na taxa de crescimento da demanda energética. As elasticidades-renda obtidas na literatura consultada variaram de 0,21 (ANDRADE; LOBÃO, 1997) a 1,71 (SCHMIDT; LIMA, 2004). Comparativamente, o valor estimado para o coeficiente nesse estudo foi menos expressivo em termos numéricos que aqueles obtidos nas demais pesquisas.

Portanto, os resultados indicam que o consumo energético do setor industrial é pouco sensível ao crescimento da produção. De modo geral, nota-se que a estrutura produtiva do setor industrial brasileiro é bastante diversificada. Por exemplo, dados da matriz de insumo-produto do NEREUS (2017) mostram que a participação do setor de energia elétrica, gás e outros no consumo intersetorial dos segmentos de extração de minério, minerais não-ferrosos e de bebidas foi de 3,9%, 5% e 1,4%, respectivamente. Nesses segmentos, o setor energético ocupou as posições 11^a, 9^a e 16^a entre os 68 segmentos dessa matriz. Isto é, os insumos energéticos representam uma parcela relativamente pequena da produção industrial, fato que justificaria o baixo coeficiente da elasticidade-renda desses setores.

5 CONCLUSÃO

Este estudo buscou analisar a demanda energética de setores selecionados da indústria brasileira entre 1995 e 2019. Para isso, empregou-se o método dos momentos generalizados dinâmico (*dynamic generalized method of moments - GMM*), que visou obter estimativas consistentes das elasticidades preço e renda da demanda por energia. Foram analisados oito setores industriais, a partir da demanda de energia das respectivas fontes de energia utilizadas por eles.

As elasticidades preço e renda encontradas foram, respectivamente, de -0,085 e 0,109, ou seja, a demanda de energia é inelástica ao preço e à renda. Portanto, pode-se dizer que a resposta da demanda energética industrial ocorre de forma menos que proporcional à variação do preço e da renda dos setores. Os resultados encontrados para a elasticidade preço estão de acordo com a literatura mencionada neste trabalho, porém com um resultado menor do que o encontrado por Modiano (1984) e Schmidt e Lima (2004). Como pode ser observado nas

estimativas apresentadas, esses resultados podem estar associados com a diversificação do consumo energético utilizados no processo produtivo das indústrias.

Uma vez que, ao sofrerem choques nos preços, as empresas que são abastecidas por mais de uma fonte de energia tem a possibilidade de migrar para outros insumos energéticos. Entretanto, aquelas empresas que não possuem diversidade energética e possivelmente necessitam manter sua estrutura produtiva mesmo com o aumento dos preços, também serão pouco sensíveis às mudanças nos preços, por não possuírem fontes de substituição no curto prazo. Porém, isso demonstra uma rigidez pré-existente nas estruturas produtivas das indústrias brasileiras, além da necessidade da expansão do sistema energético brasileiro como condicionante do crescimento da atividade industrial (MATTOS, 2005).

Diante do exposto, pode-se concluir que políticas econômicas e energéticas devem considerar a diversidade energética e as características produtivas de cada setor. Ademais, ressalta-se que a diversificação das fontes energéticas é primordial para que a indústria nacional possa ter autonomia e alternativas para a manutenção do seu sistema produtivo, para que assim possa crescer de forma sustentável, ambiental e economicamente.

REFERÊNCIAS

ALTOÉ, L., COSTA, J. M., OLIVEIRA FILHO, D., MARTINEZ F. J. R., FERRAREZ, A. H., & Viana, L. de A. (2017). **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética**. *Estudos Avançados*, 31(89), 285–297.

ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. A. **Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. (Texto para discussão, 489).

ÁVILA, MARCELO DE. **Impacto da crise no mercado de trabalho da indústria de transformação: uma análise das horas trabalhadas e do emprego**. *Boletim Mercado de Trabalho*, Brasília, v. 1, n. 52, p.19-25, ago. 2012. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3874>. Acesso em: 5 abr. 2021

BARDELIN, Cesar Endrigo Alves. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica**. 2004. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2004. doi:10.11606/D.3.2004.tde-23062005-084739. Acesso em: 2022-07-31.

BJORNER, T. B.; TOGEBY, M.; JENSEN, H. H. **Industrial companies demand for electricity: evidence from a micropanel**. *Energy Economics*, North-Holland, v. 23, n. 5, p. 595-617, 2001.

BRENDT, E. R. and D. O. WOOD, 1975, **Technology, prices and the derived demand for energy**. *The Review of Economics and Statistics*, 57(3), pp. 259-68.

BUENO, Rodrigo de Losso da Silveira. **Econometria de Séries Temporais** – São Paulo: Cengage Learning, 2011.

COELHO JUNIOR, L. M.; SANTOS JUNIOR, E. P.; ALENCAR, F. V. **Concentração da demanda energética na Indústria Brasileira Têxtil**. *Engevista (UFF)*, v. 21, p. 79-92, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/engevista.v21i1.13190>. Acesso em: 09 set. 2017.

COSTA, M. M. **Princípios de ecologia industrial aplicados à sustentabilidade ambiental e aos sistemas de produção de aço**. 2002. 257 p. Tese (D.Sc., Planejamento Energético) – Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

DE MATTOS, R.S. **Tendências e raízes unitárias**. Texto Didático, [s. l.], 2018. Disponível em: https://www.ufjf.br/wilson_rotatori/files/2011/05/Tendencias-e-Raizes-Unitarias-2018.pdf. Acesso em: 7 ago. 2022.

DIAS, R. A.; MATTOS, C. R.; BALESTIERI, J. A. P. **Conservação de Energia: conceitos e sociedade.** In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia – COBENGE, 28, 2000, Ouro Preto. Anais. CD-ROM, 2000.

FLÔRES JR., R.G. **O método generalizado de momentos (MGM): conceitos básicos.** Rio de Janeiro: FGV, 2003. (Ensaio Econômico, 515).

GUTIERREZ, R. H., GONÇALVES, O. A. V., LUQUETTI, I. J. A. (2016). **Gestão do Consumo de energia Elétrica: Revisão da Literatura nas Bases Scopus e Scielo.** XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão & III INOVARSE. Disponível em: <https://www.inovarse.org/sites>. Acesso em: 14 mar. 2021.

GOLDEMBERG, JOSÉ (1998). **Energia e desenvolvimento.** Estudos Avançados, vol. 12, nº 33, maio/agosto de 1998, p. 7-15. São Paulo, SP

IRFFI, G. et al. **Previsão da demanda por energia elétrica para classes de consumo na região Nordeste, usando OLS dinâmico e mudança de regime.** Vol.13, n.1, pp.69-98, 2009.

KEMFERT, C. **Estimated substitution elasticities of a nested CES production function approach for Germany.** Energy Economics, Singapore, v. 20, p. 249-264. 1998.

KULSHRESHTHA, M; PARIKH, J. K. **Modeling demand for coal in India: vector autoregressive models with cointegrated variables.** Energy, Aalborg, v. 25, p. 149-168. 2000.

LIU, Gang. **Estimating Energy Demand Elasticities for OECD Countries: A Dynamic Panel Data Approach.** Discussion Papers. Nº373, Statistics Norway, Research Department, pp.27, 2004.

LISE, W., & MONTFORT, K.V. (2007). **“Energy Consumption and GDP in Turkey: Is There a Cointegration Relationship?”**, Energy Economics, 29, pp.1166-1178.

MARQUES, L. D. **Modelos dinâmicos com dados em painel: revisão da literatura.** Série Working Papers do Centro de Estudos Macroeconômicos e Previsão (CEMPRE) da Faculdade de Economia do Porto, Portugal, n. 100, 2000.

MATTOS, LEONARDO BORNACK; LIMA, João Eustáquio de. **Demanda Residencial de Energia Elétrica em Minas Gerais: 1970 a 2002.** Nova Economia, Belo Horizonte, V.15, n. 3, p. 31-52, 2005.

MODIANO, E. M. (1984). **Elasticidade-renda e preço da demanda de energia elétrica no Brasil.** Texto para discussão nº68, Departamento de economia - PUC/RJ.

PICCININI, MAURICIO SERRÃO. **Conservação de energia na indústria: as políticas**

adotadas na época da crise energética. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v.1, n.2, p. 153-182, dez.1994.

PINDYCK, R. S. **Interfuel substitution and the industrial demand for energy: an international comparison.** The Review of Economics and Statistics, Cambridge, v. 61, n.2, p. 169-179. 1979.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Econometria.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004

PIRES, J. C. L., GIAMBIAGI, F. e GOSTKORZEWICZ, J. **O cenário macroeconômico e as condições de oferta de energia elétrica no Brasil.** Rio de Janeiro: BNDES, mar. 2001 (Texto para Discussão, 85).

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica.** 2. ed. São Paulo: Manole, 2011.

SALAZAR, MARLON BRUNO. **Demanda da energia na indústria brasileira: efeitos da eficiência energética.** Piracicaba, 2012. Tese (Ciências Econômicas) - Universidade de São Paulo.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M.A. **Demanda por Energia Elétrica no Brasil.**RBE Rio de Janeiro 58(1):67-99 jan/mar 2004.

SILK, J. I.; JOUTZ, F. L. **Short and long-run elasticities in US residential electricity demand: a co-integration approach.** Energy Economics, North-Holland, v. 19, n. 7, p.493-513, Oct. 1997

T. C. SOARES, L. S. LOPES, e D. A. DA CUNHA. **A eficiência do consumo residencial de energia elétrica no Brasil.** Econ. Apl., vol. 21, no 3, p. 503–523, 2017.

TAVARES, E. **Energia Eólica: Viabilidade Técnica e Econômico – Financeira.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), João Monlevade – MG, 2016.

TOLMASQUIM, T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. **Matriz Energética Brasileira,** Novos Estudos, 79, 2007, pp. 47-69.

TOLMASQUIM, MAURICIO. **As Origens da Crise Energética Brasileira.** Disponível em: <https://www.scielo.br>. Acesso em: 2 fev. 2021.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: princípios básicos.** 7ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

APÊNDICE A

Tabela A – Resultados dos testes de raiz unitária - Fischer-ADF

Série	Estatística (ADF)	Valor crítico **
<i>ene</i>	23,86	0,0926
Δene	101,1	0,0000
<i>pib</i>	54,48	0,0000
Δpib	273,3	0,0000
<i>pre</i>	25,40	0,0631
Δpre	31,65	0,0111

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os testes foram realizados com constante e tendência determinística.