

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA



Gabriel Oliveira de Alarcão

Choques em variáveis energéticas: Uma análise entre o período de 2004 a 2021

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BRASÍLIA
2022

GABRIEL OLIVEIRA DE ALARCÃO

Choques em variáveis energéticas: Uma análise entre o período de 2004 a 2021

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado(a) como requisito para obtenção do título(gra) de Bacharel em Ciências Econômicas, do Departamento de Economia, da Universidade de Brasília (UnB).

Orientador: Prof. Dr. Manoel Carlos de Castro Pires

**BRASÍLIA
2022**

Agradecimentos

Eu gostaria de agradecer aos meus pais e ao meu irmão, que me apoiaram durante toda a minha trajetória e sempre estiveram ao meu lado. Aos meus amigos, que carregaram comigo de longa data. E ao meu orientador, que sempre foi muito solícito e atencioso ao longo deste processo.

Resumo

O seguinte trabalho busca analisar o efeito de choques no preço da gasolina e da energia elétrica sobre o nível de preços, a produção industrial e os juros reais. Para tal, em um primeiro momento, são estimados dois modelos VAR para cada variável e analisadas as suas funções de impulso resposta. Prospectivamente, é realizada uma análise qualitativa de choques identificados na economia brasileira e seus efeitos sobre a trajetória das demais variáveis estudadas. Nota-se que o impacto significativo de choques em variáveis energéticas reflete-se especialmente sobre o nível geral de preços e, conseqüentemente, sobre a condução da política monetária, sem efeitos significativos na produção industrial.

Abstract

The following work seeks to analyze the effect of gas and electricity price shocks on price levels, industrial production and real interest rates. To this end, at first, two VAR models are estimated for each variable and their impulse response functions are analyzed. Prospectively, a qualitative analysis of the identified shocks in the Brazilian economy and its effects on the trajectory of the other studied variables is carried out. It is noted that the significant impact of shocks on energy variables is reflected especially on the general price level and, consequently, on the conduct of monetary policy, without significant effects on industrial production.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Participação no preço final da gasolina	9
Figura 2 – Matriz Energética	10
Figura 3 – Consumo de Energia da Indústria por Fonte	11
Figura 4 – Preço médio da gasolina	14
Figura 5 – Tarifa média de energia elétrica	15
Figura 6 – PIM	15
Figura 7 – IPCA - Variação Mensal	16
Figura 8 – Selic Real - Ex-post	17
Figura 9 – Teste de critério de informação - Gasolina em primeira diferença	24
Figura 10 – Resposta do IPCA ao choque no preço da gasolina	25
Figura 11 – Resposta do PIM ao choque no preço da gasolina	25
Figura 12 – Resposta da SELIC ao choque no preço da gasolina	25
Figura 13 – Teste de critério de informação - Gasolina em nível	26
Figura 14 – Resposta do IPCA ao choque no preço da gasolina	27
Figura 15 – Resposta do PIM ao choque no preço da gasolina	27
Figura 16 – Resposta da SELIC ao choque no preço da gasolina	27
Figura 17 – Teste de critério de informação - Energia Elétrica em primeira diferença	27
Figura 18 – Resposta do IPCA ao choque no preço da energia elétrica	28
Figura 19 – Resposta do PIM ao choque no preço da energia elétrica	28
Figura 20 – Resposta da SELIC ao choque no preço da energia elétrica	28
Figura 21 – Teste de critério de informação - Energia Elétrica em primeira diferença	29
Figura 22 – Resposta do IPCA ao choque no preço da energia elétrica	29
Figura 23 – Resposta do PIM ao choque no preço da energia elétrica	29
Figura 24 – Resposta da SELIC ao choque no preço da energia elétrica	30
Figura 25 – Resíduos Estruturais	31
Figura 26 – Outubro de 2015	32
Figura 27 – Julho de 2018	32
Figura 28 – Março de 2021	33
Figura 29 – Fevereiro de 2013	33
Figura 30 – Março de 2015	34
Figura 31 – Dezembro de 2020	34

Lista de tabelas

Tabela 1 – Teste de raiz unitária	23
Tabela 2 – Teste de Portmanteau para Correlação Serial	30

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Relação das variáveis energéticas com os agregados macroeconômicos	11
1.1.1	Como choques de energia afetam os preços	12
1.1.2	Como choques de energia afetam a produção industrial	12
1.1.3	Como choques de energia afetam os juros	13
1.2	Comportamento histórico das séries	13
2	<i>ESTUDO DE CHOQUES ENERGÉTICOS NA LITERATURA</i>	18
3	<i>METODOLOGIA</i>	21
4	RESULTADOS	23
4.1	Testes de raiz unitária	23
4.2	VAR em primeira diferença - Gasolina	23
4.2.1	Seleção de Lags	23
4.2.2	Função Impulso Resposta	24
4.3	VAR em nível - Gasolina	26
4.3.1	Seleção de Lags	26
4.3.2	Função Impulso Resposta	26
4.4	VAR em primeira diferença - Energia Elétrica	27
4.4.1	Seleção de Lags	27
4.4.2	Função Impulso-Resposta	28
4.5	VAR em nível - Energia Elétrica	29
4.5.1	Seleção de Lags	29
4.5.2	Função Impulso-Resposta	29
5	<i>ANÁLISE DE EVIDÊNCIAS</i>	31
5.1	<i>Análise dos choques no preço da gasolina</i>	32
5.2	<i>Análise dos choques no preço da energia elétrica</i>	33
6	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36

1 Introdução

O preço da energia elétrica, assim como o da gasolina, são apenas um dos custos que famílias e empresas enfrentam, porém uma percepção comum é que aumentos nos preços da energia (elétrica como gasolina) são fundamentalmente diferentes de aumentos nos preços de outros bens (KILIAN, 2008). Ambos os itens possuem uma demanda relativamente inelástica, apesar da expansão de substitutos, e, mais especificamente para a energia elétrica, estão sujeitos a choques exógenos de difícil combate, como fatores climáticos, guerras e questões de geopolítica internacional.

Até o final da década de 1990 e começo dos anos 2000 havia monopólio na exploração e comercialização de petróleo no Brasil. Em 6 de agosto de 1997 foi aprovada a Lei 9.478 (Lei do Petróleo) (BRASIL, 1997), cuja ideia era abrir o mercado e estimular a concorrência no setor. Entretanto, apenas em 2002 que houve liberdade para que os preços pudessem flutuar à realidade do mercado. Aos poucos, os preços começaram a ser reajustados e a acompanhar o que era praticado no mercado internacional. Durante um período, principalmente entre 2010 e 2014, a União utilizou de sua posição de acionista majoritária da Petrobras para exercer certo controle nos preços praticados pela estatal. A principal motivação por trás dessa decisão foi a tentativa de conter pressões inflacionárias no período. A partir de meados de 2016, a Petrobras comunica uma modificação na regra de precificação dos derivados em suas refinarias, com destaque à gasolina e ao diesel (Petrobras, 2016). Desde então, a empresa vem buscando praticar preços alinhados ao mercado internacional de curto prazo. Em termos práticos, essa estratégia se traduziu em reajustes de preços mais frequentes. A alteração de preços é realizada nas refinarias e, posteriormente, transmitida as bombas para o consumidor final.

O preço final cobrado ao consumidor é composto pelo preço da gasolina “A” (pura, sem a mistura de etanol anidro combustível) no produtor ou importador, do preço do etanol anidro combustível, por tributos federais (Pis/Pasep, Cofins e Cide), pelo tributo estadual (ICMS) e pela margem bruta de distribuição e de revenda. Um aspecto relevante é que o ISS e o ICMS são alíquotas percentuais, portanto, amplificam os efeitos da volatilidade no atacado. E, no caso do ICMS, o imposto é calculado a partir de um preço de referência quinzenal, o que retarda o repasse das variações de preço no atacado. Porém, cabe destacar que, em 23 de junho de 2022 foi promulgada a Lei Complementar nº 194, que altera a composição tributária da gasolina ao zerar a incidência de tributos federais e limitar a alíquota do ICMS ao piso (17% ou 18%). Da composição final da gasolina, 73% corresponde a gasolina “A” e 27% ao etanol anidro combustível. Desta maneira, o preço final ao consumidor é uma função não só do preço internacional do petróleo e, concomitantemente, da taxa de câmbio, como também do etanol, uma vez que é obrigatória a adição de etanol anidro à gasolina. O gráfico a seguir mostra a participação de cada um desses itens no preço ao consumidor final ao final¹ de 2021, antes da mudança tributária sobre o preço do combustível.

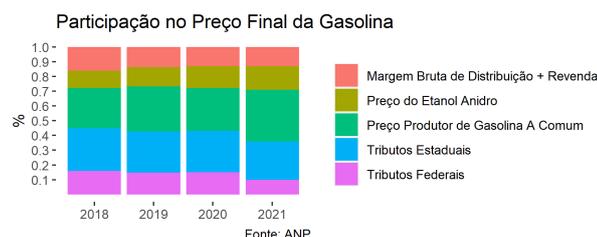


Figura 1 – Participação no preço final da gasolina

¹O primeiro mês com dados disponíveis é fevereiro de 2018.

Consumo de Energia por Fonte Indústria (2021)



Fonte: EPE

Figura 3 – Consumo de Energia da Indústria por Fonte

Com relação aos preços aos consumidores, a energia elétrica (residencial) representa 4,18% do IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo), enquanto que a gasolina, 6,83%. Ao considerar o INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor) – que tem por objetivo a correção do poder de compra dos salários, através da mensuração das variações de preços da cesta de consumo da população assalariada com mais baixo rendimento -, o peso dos itens é de 6,32% para a gasolina e 5% para a energia elétrica.

Posto isso, observa-se que ambos os preços estão sujeitos a choques em função de eventos exógenos, de modo que seus efeitos exercem impacto sobre a cadeia produtiva da economia, sobre o juro e o nível de preços. No caso da energia elétrica, devido ao caráter de longo prazo dos contratos de energia – que responde por 64% do mercado de energia no Brasil³ -, a capacidade de ajuste da oferta no curto prazo é reduzida, de modo que os choques no mercado podem se prolongar, tendo efeito mais duradouro sobre a inflação e os custos do setor industrial, de modo que a atuação da política monetária se torna necessária. No caso da gasolina, seu preço é influenciado pela cotação internacional do petróleo, sujeito a flutuações por motivos diversos, como aumento de demanda internacional, restrição de oferta por parte dos países exportadores. Entretanto, diferente da energia elétrica, o mercado interno de combustíveis tem maior capacidade de ajuste do preço no curto prazo. Deste modo, alterações no preço destes dois itens podem, diante a natureza do choque, se perpetuar pela cadeia produtiva, justificando a análise do ponto de vista do índice de preços, dos efeitos sobre a produção industrial e a resposta da política monetária.

Desta maneira, o objetivo deste trabalho é observar como a produção industrial, a inflação e a taxa de juros real responderam a choques no preço da energia elétrica e da gasolina. Deste modo, são escolhidos seis momentos distintos em que houve movimentações significativas no valor dessas matérias-primas. Estes são: fevereiro de 2013 - choque negativo no preço da energia elétrica virtude de medida provisória publicada pelo Governo Federal -, março de 2015 - colapso da crise hídrica enfrentada pelo país em 2014 e do reajuste de preços de diversos itens, entre a energia elétrica -, outubro de 2015 - correção no preço da gasolina em razão de pressões do câmbio e de instabilidade institucional na Petrobras -, julho de 2018 - redução do preço da gasolina à luz dos protestos da Greve dos Caminhoneiros -, dezembro de 2020 - motivada pela pior crise hídrica em 91 anos - e março de 2021 - aumento de 10,7% no preço da gasolina.

1.1 Relação das variáveis energéticas com os agregados macroeconômicos

A grande maioria das atividades econômicas têm a energia como insumo essencial. A expansão da capacidade de gerar energia, assim como consumi-la, é um fator importante para o crescimento econômico.

³Dados do Anuário Estatístico de 2021 divulgada pela Empresa de Pesquisa Energética.

Segundo Carminati e Scalco (2013), a energia é fator de produção equivalente a capital, pois potencializa a capacidade produtiva e infraestrutura do desenvolvimento. Essa mesma hipótese é observada em Stern e Kander (2012) que através de uma simples extensão do modelo de crescimento de Solow para a economia da Suécia, encontraram que a elasticidade de substituição entre um agregado capital-trabalho e energia é menor que a unidade, o que implica que quando serviços de energia são escassos, eles restringem fortemente o crescimento da produção, resultando em um estado estacionário de baixo nível de renda. Ebohon (1996) realizando a análise para a Tanzânia e Nigéria, chega à conclusão que o crescimento do consumo de energia é complementar ao crescimento econômico, apontando o papel crucial que a expansão da capacidade de consumo energético tem no desenvolvimento econômico dessas regiões. Singh e Inglesi-Lotz (2021) estendendo o estudo para 14 países da África subsariana⁴ encontram uma relação positiva e significativa entre o acesso à eletricidade e o crescimento econômico.

Além de seus efeitos diretos, as variáveis energéticas exercem impactos indiretos sobre a economia. Ao se tornarem mais baratas e de mais fácil acesso, as fontes energéticas permitiram o aumento do fluxo de pessoas entre os lugares, expansão da urbanização, assim como a mitigação das diferenças entre as áreas rurais e urbanas.

1.1.1 Como choques de energia afetam os preços

Taxas elevadas de inflação são fatores de instabilidade dentro do sistema econômico. Ao promoverem distorções no sistema de preços, aumentam o grau de incerteza na tomada de decisões por parte dos agentes. Outro fator desestabilizador diz respeito a questão distributiva, uma vez que afeta em maior intensidade aqueles que tem menor acesso a instrumentos financeiros. Os trabalhadores que possuem menor poder de barganha em negociações salariais também são prejudicados. Desta forma, a estabilidade de preços é vista como promotora do bem-estar social e um pilar da política econômica.

Choques no preço da gasolina e da energia elétrica representam uma inflação de custos, na qual há aumento do preço de oferta. Entretanto, os efeitos desses choques sobre a inflação ocorrem tanto de forma direta, a partir da ponderação de cada um desses itens sobre o índice geral, como de forma indireta, por meio do repasse do aumento do custo de produção ao produto.

1.1.2 Como choques de energia afetam a produção industrial

A energia elétrica e a gasolina são insumos importantes no processo de produção industrial no Brasil. Desta maneira, choques no preço destas matérias-primas têm efeitos diretos sobre os custos de produção da indústria na esteira do encarecimento destes fatores de produção. Segundo dados da Pesquisa Industrial Anual – Empresa de 2020, o consumo de energia elétrica e de combustíveis representa 2,02% do custo total das empresas industriais com 30 ou mais pessoas ocupadas⁵. Entre os custos diretos de produção, os itens respondem por 34,65%, indicando a relevância dessas fontes de energia na estrutura de custos da produção industrial

Este processo pode impactar a produção do setor em duas maneiras: por meio da contração de oferta do setor, pressionado por custos crescentes, ou pelo recrudescimento da demanda por produtos industriais, reflexo de seus maiores preços. O último cenário pode exercer maior pressão por setores da Indústria cujos bens são energo-intensivos, como automóveis (BARSKY; KILIAN, 2004). A dificuldade de repassar o aumento dos custos ao produto final - seja por custos de menu, grande quantidade de concorrentes - pode ampliar os efeitos negativos de um choque sobre o setor industrial.

⁴Benim, Botswana, Camarões, República do Congo, Quênia, Mauritânia, Moçambique, Namíbia, Nigéria, Senegal, África do Sul, Suazilândia, Tanzânia e Togo

⁵A energia elétrica responde por 55,55% desses custos, enquanto a gasolina 44,45%.

Como discutido por Bernanke (1983), as decisões de investimento no setor são afetadas conjuntamente. O autor aponta que os choques energéticos tendem a reduzir o valor adicionado, uma vez que as firmas vão adiar seus investimentos de modo a observar se o aumento no preço dos itens energéticos é de caráter temporário ou permanente. A resposta da política monetária frente ao choque é, somada aos demais fatores, uma via de transmissão da elevação do preço da gasolina e da energia elétrica sobre a produção industrial na maneira em que o crédito tem papel importante na operação das atividades da indústria e dos demais setores da economia.

1.1.3 Como choques de energia afetam os juros

O processo recente de contração monetária observada tanto no Brasil como no exterior, é efeito, em parte, da expansão do preço de *commodities* energéticas e das secas que afetaram algumas regiões do mundo em 2021 e 2022. Ao longo de todo o primeiro semestre de 2021, o Comitê de Política Monetária (COPOM) do Banco Central citou como fatores de risco à inflação o preço do barril do petróleo - que tem efeito direto sobre o preço da gasolina - e a bandeira tarifária de energia elétrica, justificando assim os incrementos na taxa de juros básica da economia brasileira. Os juros, desta forma, atuam como freio a aceleração dos preços ocasionada seja pelo aumento do preço da energia elétrica ou da gasolina.

1.2 Comportamento histórico das séries

A figura 4 mostra o comportamento da variação acumulada em 12 meses do preço médio de revenda da gasolina, em reais por litro (R\$/L), desde janeiro de 2004 até dezembro de 2021. Os dados são fornecidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). É possível observar que o preço se mantém relativamente estável de 2003 até 2015. A partir da Lei do Petróleo nº 9.478 de 1997, iniciou-se a abertura do mercado petrolífero, com esforços de flexibilização do setor em toda a cadeia. Em 2002, o Brasil deixou de adotar subsídios cruzados no refino e abriu o mercado interno, repassando os valores internacionais para os combustíveis. Na prática, o governo utilizava do poder de mercado da Petrobras e de reduções de impostos para não repassar a variação de preço ao consumidor final, criando assimetria entre o preço internacional e o interno. Entre 2011 e 2014, os preços passaram a ser controlados de forma a combater a inflação. Em 2018, o preço atingiu máxima histórica, até então, impactado pela política de preços da Petrobras, que passou a praticar reajustes diários. O reajuste culminou na greve de caminhoneiros em todo país, com paralisação e bloqueios de rodovias em 24 estados e no Distrito Federal por 10 dias. Até o mês de início dos protestos, o preço acumulava alta de 28%. Em maio de 2020, o preço retornou ao patamar abaixo dos 4 reais por litro, apoiado pela redução do preço internacional do petróleo frente ao avanço da pandemia do coronavírus. Com a recuperação da cotação internacional, o preço interno voltou a subir, atingindo 6 reais e 70 centavos por litro em novembro de 2021. Durante o ano de 2021, o preço da gasolina acumulou elevação de 48,78%, sendo um dos principais *drivers* da inflação.

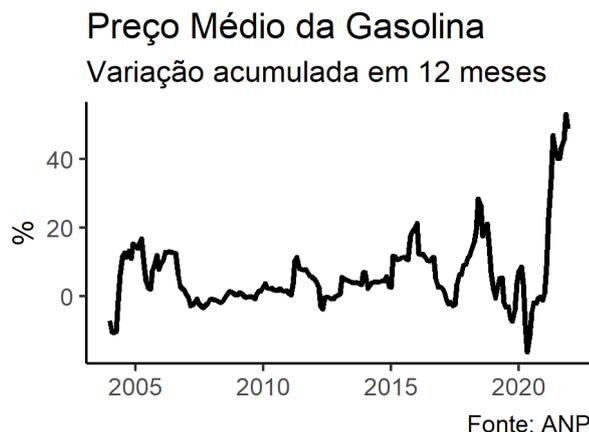


Figura 4 – Preço médio da gasolina

A Figura 5 apresenta a evolução da variação acumulada em 12 meses do preço da tarifa média de energia elétrica, medida por reais por megawatt hora (R\$/MWh), entre 2004 e 2021. Os dados são disponibilizados pelo Sistema de Acompanhamento de Informações de Mercado para Regulação Econômica (SAMP) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). O preço da tarifa não apresentou movimentos até 2013 que, devido a promulgação da MP 579, convertida na Lei 12.783, em 11 de janeiro de 2013 (BRASIL, 2013), permitiu que as empresas de energia antecipassem a renovação das concessões que venceriam nos próximos anos, sem ter que passar por licitação. Em troca, deveriam reduzir as tarifas. Entretanto, essa medida provocou um aumento de despesas de R\$ 198,4 bilhões no setor - segundo cálculos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) - principalmente ao reduzir receitas das concessões renovadas de forma regulatória, uma vez que a tarifa regulada pela ANEEL ficou inicialmente limitada aos montantes relacionados a custos de operação e manutenção. Esse custo foi posteriormente repassado às tarifas, resultando em aumento do preço da energia elétrica a partir de meados de 2013. Somado ao aumento dos custos no setor, em 2014, o país enfrentou uma crise hídrica, que tornou necessário o acionamento de usinas térmicas, de maior custo de geração, impulsionando o preço da tarifa, que em meados de 2015 registrava expansão de mais de 50% do preço. Durante o ano de 2018, verifica-se novamente aceleração da variação da tarifa, marcado por um reajuste médio de 14,15% por parte das distribuidoras de energia. Em 2021, a elevação da tarifa foi ocasionada novamente por uma escassez hídrica, a pior em 91 anos, de modo que foi necessária o reajuste das bandeiras tarifárias vigentes e a criação de uma nova, a Bandeira Escassez Hídrica⁶, criada para custear a geração de energia em condições adversas e sinalizar a importância de reduzir o consumo.

As bandeiras tarifárias foram criadas pela ANEEL por meio da Resolução Normativa nº 547/13 de 16 de abril de 2013 (ANEEL, 2013) e são válidas para todo o Sistema Interligado Nacional (SIN), exceto Roraima. Elas sinalizam ao consumidor cativo se haverá acréscimo no valor da energia pago por conta das condições de geração de eletricidade. Existem 3 tipos de bandeiras: verde, amarela e vermelha. A verde não implica em acréscimo na tarifa. Na bandeira amarela, tarifa sofre acréscimo de R\$ 2,989 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumido. A vermelha foi dividida em 2 patamares em 2016: Patamar 1 e Patamar 2, que acrescentam R\$ 6,5 e R\$ 9,975 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumido, respectivamente. A Bandeira de Escassez Hídrica, quando vigente, adicionou R\$ 14,2 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumido.

⁶A bandeira de escassez hídrica foi instituída pela Medida Provisória nº 1.055/2021 e vigorou de fevereiro a abril de 2022 como plano de ação para combater a crise hídrica que se intensificou em 2021.

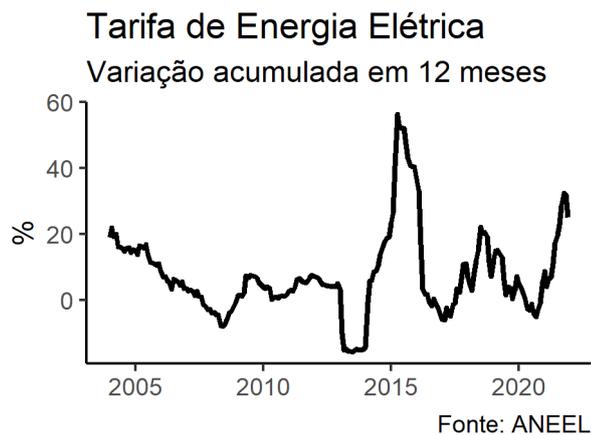


Figura 5 – Tarifa média de energia elétrica

A figura 6 mostra a evolução da produção industrial brasileira, medida por meio da Pesquisa Mensal da Indústria (PIM), divulgada mensalmente pelo IBGE. Os dados abarcam o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2021. É possível observar que ao longo do ano de 2004, o índice apresentou tendência ascendente, em recuperação da crise econômica de 2002-03. Em setembro de 2008, auge da crise financeira de 2008, a produção industrial brasileira atingiu máxima histórica até então, evento que foi seguido de contração de 17,2% entre setembro e janeiro de 2009. O índice renovou sua máxima histórica em maio de 2011. Desde 2013, a série apresenta trajetória descendente, afetada especialmente pela crise econômica que afetou o país entre 2014 e 2016. Em maio de 2018, a produção industrial sofreu retração de 10,9% em comparação com abril, devido à greve dos caminhoneiros que paralisou o país por 10 dias. Em abril de 2020, com a disseminação da pandemia do coronavírus, o índice retraiu 19,6% em comparação com o mês anterior, a maior retração em toda a série histórica. Em 2022, ele se recuperou e já opera em patamar acima do observado no pré-pandemia (fevereiro de 2020).

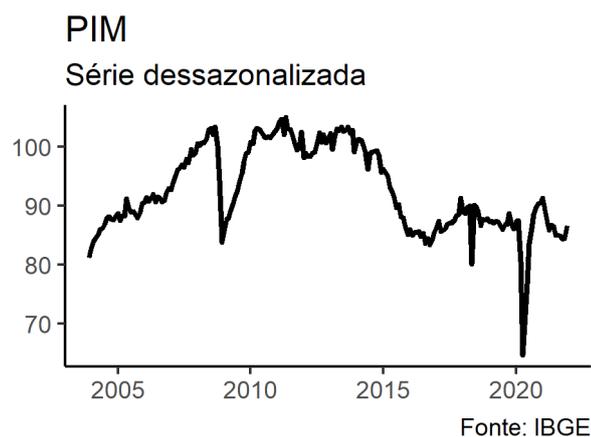


Figura 6 – PIM

A figura 7 apresenta a variação acumulada em 12 meses da inflação, medida pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), divulgado mensalmente pelo IBGE. O gráfico compreende o período de 2004 a 2021. É possível observar que o início do ano de 2003 foi marcado por variações elevadas no primeiro trimestre, acumulando crescimento de 5,1% nesse período, marcadas pela desvalorização cambial ocorrida em 2002 e devido ao encarecimento da energia elétrica, face à crise energética que o país enfrentou em 2002. O período entre 2004 e 2014 foi de relativa estabilidade, sem a ocorrência de choques

nos preços. Em 2015, os preços voltaram a acelerar, devido aos reajustes do preço da energia elétrica e dos combustíveis, que haviam sido represados em 2014, e o índice de inflação encerrou o ano com alta de 10,67%, a maior variação desde 2002, quando a inflação aumentou 12,53%. Em 2021, a inflação voltou a apresentar crescimento acelerado, encerrando o ano com alta de 10,06% dos preços, diante expansão dos preços dos combustíveis e da energia elétrica. A figura 5 mostra a expansão anual do índice de preços geral, da gasolina e da energia elétrica (residencial), de maneira que nota-se que os períodos de elevação intensa da inflação são marcados por crescimento também elevado na abertura de gasolina e energia elétrica, demonstrando o quão importante pode ser, do ponto de vista da política monetária, uma melhor compreensão de choques nesses itens.

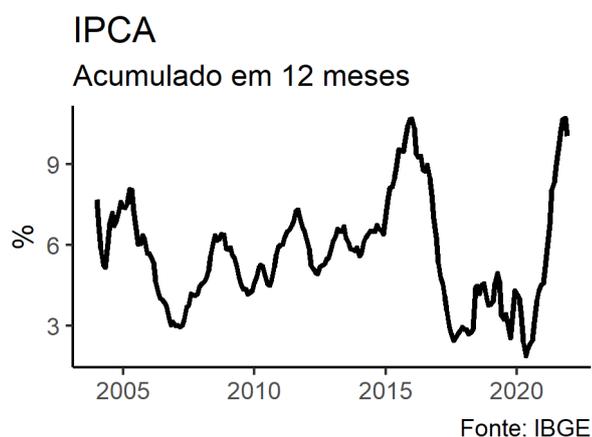


Figura 7 – IPCA - Variação Mensal

A figura 8 apresenta a evolução da SELIC real acumulada no mês. Os dados para a taxa SELIC nominal são fornecidos pelo Sistema Gerenciador de Séries Temporais do Banco Central do Brasil e são medidos em termos percentuais. Para obter o valor real para a taxa de juros, os valores são deflacionados pelo IPCA acumulado em 12 meses, calculado pelo IBGE. O gráfico compreende o período de 2004 a 2021. Durante o ano de 2003, o juros real foi decaindo, devido a aceleração do processo inflacionário no país. Em 2004, esse processo começa a ser revertido com a implementação de uma política monetária mais restritiva, com o juros atingindo 19,75% em maio de 2005 e, conseqüente desaceleração da inflação. O período seguinte foi marcado por redução dos juros, porém ainda operavam em patamar elevado, e desaceleração da inflação. Em 2013, os juros reais atuaram bem próximos da neutralidade, diante do avanço dos preços e uma política expansionista do Banco Central. O período seguinte foi marcado por nova expansão dos juros reais, frente a série de acréscimos da SELIC pelo BC. Em 2017, a série apresentou nova reversão, operando abaixo da neutralidade a partir do segundo semestre de 2020, com a redução dos juros a níveis históricos em resposta ao choque da pandemia do *covid-19*.



Figura 8 – Selic Real - Ex-post

2 *Estudo de choques energéticos na literatura*

A análise dos efeitos de variáveis energéticas em fatores reais e dos preços da economia se estende desde o estudo dos primeiros choques do petróleo, com Darby (1982) e HAMILTON (1983). Devido a importância relativa que tem como fonte energética, o petróleo¹ e suas interações com a economia são de extrema importância para formulação de políticas e programação econômica dos agentes. A partir da década de 80, com a difusão dos modelos de Vetores Autoregressivos, a análise dos efeitos dos choques passou a se concentrar em modelos VAR e suas funções de impulso resposta. Killian (2009) usa um modelo VAR estrutural para explorar as implicações dos choques de demanda e oferta no mercado global de petróleo bruto para o preço real do petróleo. O objetivo é demonstrar que cada um desses choques têm efeitos distintos sobre o preço real do petróleo bruto e sobre os agregados macroeconômicos dos Estados Unidos. As estimações foram realizadas a partir das seguintes variáveis: preço real do petróleo, choques exógenos a produção do petróleo conduzidos por eventos políticos em países da OPEP, produção global de petróleo e um indicador de atividade econômica real global. Nessa mesma linha, Cashin et al. (2012) estimam um VAR Global para 38 países/regiões de modo a identificar os efeitos de choques de demanda e de oferta do preço do petróleo. Os autores estendem a análise, utilizando como variáveis o PIB real dos países, as taxas de inflação, a taxa de juros de curto e longo prazo, o preço real dos ativos, a taxa de câmbio real efetiva, o preço nominal do petróleo (em dólares) e a produção global de petróleo. Os resultados reforçam a ideia de que a fonte subjacente do choque do preço do petróleo é crucial para determinar sua consequência macroeconômica para os países importadores de petróleo, bem como para os principais exportadores da *commodity*. Enquanto os importadores de petróleo normalmente enfrentam uma queda de longa duração na atividade econômica em resposta a um aumento nos preços do petróleo impulsionado pela oferta, o impacto é positivo para os países exportadores de energia que possuem grandes reservas comprovadas de petróleo/gás. No entanto, em resposta a um distúrbio na demanda de petróleo, quase todos os países em nossa amostra experimentam pressões inflacionárias de longo prazo e um aumento de curto prazo na produção real.

Bernanke, Gertler e Watson (1997) buscam aumentar o entendimento do papel da política monetária nos ciclos de negócios nos Estados Unidos no pós guerra. Desta maneira, os autores selecionam choques de petróleo como variável para qual haverá resposta da política monetária, principalmente pelo fator exógeno - o que posteriormente é rejeitado em Killian (2009). A partir disso, é estimado um VAR, no período de 1965-95, composto pelas seguintes variáveis: o logaritmo do PIB real, logaritmo do deflator implícito do PIB, logaritmo de um índice de preços de *commodities*, indicador de estado do mercado de petróleo e o nível da taxa de fundos federais. Os resultados do estudo sugerem que uma parte importante do efeito do choque de petróleo na economia pode ser explicada pela resposta contracionista da política monetária, em reação a espiral de preços. Manera e Cologni (2008) ampliam essa análise para os países que compõem o G-7. É estimado um VAR estrutural cointegrado a partir da taxa de juros de curto prazo (*treasury bill*), o agregado monetário (M1), o índice de preços ao consumidor, o PIB real, o preço nominal do petróleo em dólares e a taxa de câmbio entre a SDR (*Special Drawing Rights*) e o dólar. Entretanto, é encontrado que, com exceção de Itália e Japão, os demais países observam redução dos juros em resposta ao choque. Deste modo, os autores sugerem que em alguns países - principalmente aqueles cuja política monetária foi expansionista após o choque - uma parte significativa do choque é contrabalanceada pela flexibilização das condições monetárias.

¹O petróleo responde por 30% da matriz energética do mundo, segundo relatório da Agência Internacional de Energia em 2020.

Jimenez-Rodriguez (2007) busca identificar o efeito de choques no preço do petróleo na produção industrial de seis países da OCDE (França, Alemanha, Itália, Espanha, Reino Unido e Estados Unidos). O trabalho do autor se diferencia por analisar o choque em um setor específico, ao invés do agregado macroeconômico. É estimado um VAR com as seguintes variáveis: a produção industrial total, índice de preços ao consumidor, um agregado monetário, taxa de juros nominal de curto-prazo, taxa de câmbio real efetiva e o preço do petróleo. O autor observou que uma elevação do preço do petróleo reduz o nível de produção manufatureira em todos os países estudados, com diferentes padrões entre os países e entre setores da indústria. Segundo o autor, esses resultados parecem estar mais relacionados com as estruturas industriais manufatureiras do que com o padrão de consumo de petróleo.

Realizando a análise para o caso brasileiro, de Medeiros et al. (2021) analisa, através de um VECM, os efeitos dos choques de petróleo no comportamento das variáveis macroeconômicas da economia brasileira, tendo o período de 2002 a 2015 como referência. As funções impulso-respostas estimadas mostram que inicialmente a inflação, PIB, juros, câmbio e M1 respondem negativamente a choques do petróleo, mas ao longo do tempo se recuperam e se estabilizam no longo prazo. O desemprego, por sua vez, apresenta elevação inicial e depois cai, seguindo trajetória inversa ao PIB.

Utilizando-se de uma abordagem histórica, Barsky e Killian (2004) buscam estudar as relações dos eventos políticos no Oriente Médio e as variações no preço do petróleo e, conseqüentemente, seus efeitos sobre os agregados macroeconômicos dos Estados Unidos. Observando os efeitos através de algumas variáveis - vendas de automóveis, consumo de bens duráveis, inflação e salários -, os autores apontam que, ainda que possam contribuir para recessões, os choques no preço do petróleo não tem papel fundamental. Diante das evidências apresentadas, conclui-se no estudo que as perturbações no mercado do petróleo têm menor atuação sobre os agregados macroeconômicos do que se havia previsto anteriormente.

A tabela a seguir consolida os estudos previamente citados e seus resultados. Em geral, os trabalhos apontam que os choques do petróleo têm efeitos significativos sobre os agregados econômicos, especialmente sobre o nível de preços. Entretanto, os resultados encontrados em Bernanke, Gertler e Watson (1997) e Manera e Cologni (2008) apontam que a resposta da política monetária exerce papel importante na dimensão do choque.

TRABALHO	AUTOR	ABORDAGEM	RESULTADO
Systematic Monetary Policy and the Effects of Oil Price Shocks	Bernanke, Ben S. and Getler, Gene and Watson, Mark W. (1997)	VAR	Os resultados do estudo sugerem que uma parte importante do efeito do choque de petróleo na economia pode ser explicada resposta contracionista da política monetária.
Oil and the macroeconomy since the 1970s	Barsky, Robert B and Kilian, Lutz (2004)	Análise de evidências	Conclui-se no estudo que as perturbações no mercado do petróleo têm menor atuação sobre os agregados macroeconômicos do que se havia previsto anteriormente.

TRABALHO	AUTOR	ABORDAGEM	RESULTADO
The Industrial Impact of Oil price Shocks: Evidence from the Industries of Six OECD Countries	Jimenez-Rodriguez, Rebeca (2007)	VAR	Observa-se que o choque do petróleo exerce efeitos heterogêneos sobre os diversos setores da indústria dos países estudados.
Oil prices, inflation and interest rates in a structural cointegrated VAR model for the G-7 countries	Cogni, Alessandro and Manera, Matteo (2008)	VAR Estrutural Cointegrado	Os autores observam que, com a exceção do Japão e da Itália, choques no preço do petróleo levaram a redução dos juros no curto prazo.
Not all oil price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the crude oil market	Kilian, Lutz (2009)	VAR estrutural	Demonstra-se que a natureza do choque do petróleo tem efeitos distintos sobre os agregados macroeconômicos.
The Differential Effects of Oil Demand and Supply Shocks on the Global Economy	Cashin, Paul and Mohaddes, Kamiar and Raissi, Maziar and Raissi, Mehdi	VAR Global	Nota-se que a relação do país para como o mercado de petróleo (exportador ou importador) é um fator relevante na análise dos efeitos do choque do petróleo.
Impactos dos choques do petróleo sobre a economia brasileira (2002-2015)	de Medeiros, Edson Ramos and Cateia, Júlio Vicente and Hasegawa, Marcos Minoru	VECM	Apresentam que choques no preço do petróleo afetam a estrutura de preços relativos e de produção da economia brasileira, de maneira que devam ser considerados na formulação de políticas macroeconômicas.

Apesar da extensa literatura no estudo dos efeitos do petróleo na economia mundial e brasileira, pouco se encontra a respeito dos choques do preço da gasolina no Brasil, especialmente considerando que, até o ano de 2016, o preço do combustível não seguia a cotação do petróleo no mercado internacional e, portanto, não apresentava variação relevante. O mesmo se observa para o preço da energia elétrica. Até onde temos conhecimento, esse é o primeiro estudo que avalia o tema e, portanto, a principal contribuição deste trabalho.

3 Metodologia

Os modelos de vetores auto-regressivos (VAR) surgiram na década de 80 como resposta às críticas ao grande número de restrições impostas às estimações pelos modelos estruturais. A ideia era desenvolver modelos dinâmicos com o mínimo de restrições, nos quais todas as variáveis econômicas fossem tratadas como endógenas. Sendo assim, os modelos VAR examinam relações lineares entre cada variável e os valores defasados dela própria e de todas as demais variáveis, impondo como restrições à estrutura da economia somente: a escolha do conjunto relevante de variáveis e do número máximo de defasagens envolvidas nas relações entre elas. Nos modelos VAR, o número de defasagens é normalmente escolhido com base em critérios estatísticos (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2004) (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2004).

Os modelos VAR, evidentemente, têm as suas limitações. Uma delas refere-se ao elevado número de parâmetros dos modelos VAR, com reflexo no tamanho de amostra requerido para que se obtenha uma estimação confiável. Outra diz respeito ao fato de que cada modelo VAR é simplesmente uma forma reduzida, ou seja, as mesmas relações entre as variáveis e suas defasagens são simultaneamente compatíveis com vários diferentes modelos que descrevem também as relações contemporâneas entre as variáveis (chamados de formas estruturais). A estimação das equações, uma por uma, pode ser realizada através do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

O VAR é um modelo estatístico multivariado utilizado para capturar as relações lineares entre um grupo de variáveis endógenas ao longo do tempo. É um tipo de modelo linear dinâmico que pode ser usado para representar um sistema de equações em que cada equação é uma função das defasagens das variáveis do modelo e dos valores passados e presentes do termo de erro.

O modelo teórico pode ser apresentado em sua forma reduzida da seguinte maneira:

$$y_t = \Phi_0 + \Phi_1 y_{t-1} + \Phi_2 y_{t-2} + \dots + \Phi_p y_{t-p} + e_t \quad (3.1)$$

Onde y_t é um vetor ($n \times 1$) com variáveis aleatórias endógenas, Φ_0 é um vetor ($n \times 1$) de constantes, Φ_j é uma matriz ($n \times n$) de coeficientes e e_t um vetor ($n \times 1$) de resíduos.

Um problema que surge com a utilização dos modelos VAR é a necessidade que as variáveis do sistema sejam estacionárias, uma vez que as estimativas pressupõem um único processo gerador de dados para ser estimado e séries não estacionárias apresentam média e variância que mudam no tempo. Porém, como observa Pfaff (2008), a maioria das deduções de longo prazo dos modelos macroeconômicos surge de modelos com variáveis em nível, de maneira que a análise empírica dos resultados através de variáveis diferenciadas se torna um desafio. Sims, Stock e Watson (1990) argumentam contra a diferenciação de séries mesmo na presença de raiz unitária, uma vez que o objetivo do VAR é determinar as inter-relações entre as variáveis, não estimar seus parâmetros. O principal argumento contra a diferenciação é que se perde informação a respeito dos co-movimentos dos dados. Um outro contratempo na utilização de modelos VAR é que, ao tratar todas as variáveis de forma simétrica, é desprovida de qualquer conteúdo econômico (ENDERS, 2008). Dessa maneira, se faz necessária a identificação do VAR, assumindo hipóteses sobre as relações entre as variáveis. Desse modo, obtém-se o VAR estrutural, que difere da forma reduzida do VAR, caso a matriz A na equação (3.2) difira da matriz identidade:

$$A_0 y_t = A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \dots + A_p y_{t-p} + B e_t \quad (3.2)$$

Onde as matrizes B_1 contém os coeficientes estruturais. As restrições no VAR estrutural podem

ser implementadas na matriz A (matriz de relações contemporâneas), na matriz B ou em ambas. Os termos de erro e_t (erros estruturais) tem a particularidade de que todos os elementos fora da diagonal da matriz de covariância são zero. Ou seja, os choques estruturais não são correlacionados. Do ponto de vista econômico, se a dinâmica conjunta de um conjunto de variáveis pode ser representada por um modelo VAR, então a forma estrutural é uma descrição das relações econômicas "estruturais" subjacentes. Duas características da forma estrutural a tornam a candidata preferida para representar as relações subjacentes: Os termos de erro não são correlacionados. Isso é útil para separar os efeitos de influências não relacionadas economicamente no VAR; as variáveis podem ter um impacto contemporâneo umas nas outras. Este é um recurso desejável, especialmente ao usar dados de baixa frequência. Devido ao problema de identificação de parâmetros, a estimativa de mínimos quadrados ordinários do VAR estrutural produziria estimativas de parâmetros inconsistentes. Esse problema pode ser superado reescrevendo o VAR na forma reduzida, ao pré multiplicar a equação (3.2) pela matriz inversa de A_0 :

$$y_t = A_0^{-1}A_1y_{t-1} + A_0^{-1}A_2y_{t-2} + \dots + A_0^{-1}A_p y_{t-p} + A_0^{-1}B e_t \quad (3.3)$$

E denotando:

$$A_0^{-1}A_1 = \Phi_1, A_0^{-1}A_2 = \Phi_2, \dots, A_0^{-1}A_p = \Phi_p, A_0^{-1}B = C \quad (3.4)$$

Obtemos o VAR em sua forma reduzida, semelhante a equação (3.1). De modo a se obter os resíduos estruturais, torna-se necessária a identificação do VAR. Aplica-se a decomposição de Cholesky, que consiste em uma decomposição na matriz de variância e covariância dos resíduos. Com esse método, é possível a obtenção de respostas ortogonais, isto é, livres de ruídos de outras variáveis.

Notando a presença de cointegração entre as variáveis estudadas, o modelo pode ser estimado por meio de um modelo de correção de erros (VECM), que pode ser descrito, em sua forma geral, por:

$$\Delta y_t = c + \Pi y_{t-1} + \sum_{l=1}^{p-1} \Gamma_l \Delta y_{t-l} + e_t \quad (3.5)$$

onde Δy_t é a primeira diferença das variáveis do vetor y , Π é uma matriz de coeficientes de relações de cointegração, Γ é uma matriz dos lags das variáveis diferenciadas do vetor y e c é o intercepto.

Uma ferramenta útil na análise das interações das variáveis presentes em um modelo VAR são as funções de impulso-resposta. Os gráficos destes são uma maneira prática de visualizar o comportamento de choques entre as variáveis estudadas. Em modelos estáveis, espera-se que as respostas aos choques converjam para zero em tempo finito. A função impulso-resposta pode ser encontrada reescrevendo o VAR de ordem p como um vetor de médias móveis infinitas VMA (∞), da seguinte maneira:

$$y_t = \mu + \sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n e_{t-n}^y \quad (3.6)$$

Os coeficientes de φ_i representam multiplicadores de impacto e são usados para gerar efeitos de e_{t-i}^y sobre as trajetórias de y_t e são chamados de função de impulso-resposta.

De modo a observar a dinâmica do modelo, serão estimadas Funções de Impulso-Resposta de maneira que possa se compreender a resposta da produção industrial, da inflação e dos juros reais perante um choque nas variáveis energéticas. Adicionalmente, também pode ser estimada a decomposição da variância dos erros de previsão. De forma geral, a função retorna o quanto a variação percentual do erro de previsão é atribuída a cada variável ao longo do horizonte de previsão.

4 Resultados

As subseções a seguir apresentam os testes necessários à modelagem por meio do método de Vetores Autoregressivos, assim como os principais resultados relacionados aos modelos estimados, como a função de impulso-resposta e a decomposição da variância. Primeiro, é realizado o teste de raiz unitária para as séries selecionadas, de modo a atestar sua estacionariedade, seguido do teste de seleção da ordem de defasagem do VAR. De modo a observar os resultados, são realizadas duas modelagens distintas para cada variável energética, uma com todas as séries diferenciadas - devido a não estacionariedade destas - e uma com as séries em nível. Para todas as modelagens realizadas, adotou-se a seguinte identificação do VAR: a variável de preço, seja da energia elétrica ou da gasolina, afeta a inflação, que afeta a produção industrial e por último, os juros reais. Para todas funções de impulso-resposta foi adotada a decomposição de Cholesky.

4.1 Testes de raiz unitária

Primeiramente, foi aplicado o teste aumentado de Dickey-Fuller (ADF) com tendência e intercepto, com objetivo de verificar a estacionariedade das séries. O ADF testa a hipótese nula de que a série apresenta raiz unitária. A tabela a seguir consolida os resultados dos testes para cada uma das variáveis, em nível.

Teste ADF			
Série Temporal	Estatística-t	Valor Crítico a 5%	P-valor
Preço da Gasolina	-2.489	-2.875	0.1194
Preço da Energia Elétrica	-4.236	-2.875	0.0007
PIM (Log)	-2.699	-2.874	0.0758
IPCA	-2.701	-2.875	0.0756
SELIC real	-0.642	-2.875	0.8571

Tabela 1 – Teste de raiz unitária

A partir dos resultados apresentados acima, não rejeita-se a hipótese nula de que há raiz unitária apenas para a série do preço da energia elétrica, ao nível de 5%. Atestada a presença de raiz unitária nas séries estudadas, no primeiro passo da modelagem será realizada a estimação do VAR em primeira diferença.

4.2 VAR em primeira diferença - Gasolina

4.2.1 Seleção de Lags

Considerada a presença de variáveis não-estacionárias e, realizada a sua diferenciação, o próximo passo do processo de modelagem do VAR é a seleção da ordem de defasagem do modelo proposto. Um critério comumente usado é o critério de informação de Akaike (AIC), que busca equilibrar o ajuste do modelo com o número de parâmetros usados para atingir esse ajuste. O AIC escolherá o comprimento de defasagem que minimiza a diferença entre a qualidade do ajuste do modelo e a complexidade do modelo.

Outro critério é o critério de informação bayesiano (BIC) ou critério de informação de Schwartz (SC), que é semelhante ao AIC, mas dá maior ênfase à parcimônia do modelo. Ele escolherá o comprimento de defasagem que minimiza a diferença entre a qualidade do ajuste e o número de parâmetros, com

penalidade para números maiores de parâmetros.

As tabela abaixo consolidam o resultado das estatísticas para o modelo de gasolina em primeira diferença com doze lags.

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-147.7580	NA	5.24e-05	1.495153	1.560438	1.521564
1	101.1190	485.4941	5.28e-06	-0.799202	-0.472778*	-0.667144
2	130.3950	55.95608	4.64e-06	-0.930000	-0.342436	-0.692295
3	146.9892	31.06306	4.61e-06	-0.935854	-0.087151	-0.592503
4	193.6800	85.56138	3.41e-06	-1.238226	-0.128384	-0.789228*
5	205.0386	20.36727	3.58e-06	-1.192499	0.178483	-0.637854
6	214.2883	16.22104	3.83e-06	-1.125993	0.506128	-0.465702
7	227.2189	22.16683	3.96e-06	-1.095753	0.797508	-0.329815
8	242.9043	26.27107	3.99e-06	-1.092653	1.061747	-0.221069
9	262.0449	31.30378	3.88e-06	-1.123595	1.291945	-0.146364
10	284.3682	35.62939	3.67e-06	-1.185894	1.490785	-0.103016
11	293.7637	14.62552	3.95e-06	-1.120825	1.816993	0.067699
12	355.4861	93.64778*	2.54e-06*	-1.571292*	1.627666	-0.277121

Figura 9 – Teste de critério de informação - Gasolina em primeira diferença

Apesar de que os critérios apontam diferentes número de defasagens, seleciona-se o modelo com quatro defasagens. Isto é devido ao fato de que este apresenta melhor dinâmica da função impulso-resposta e que o modelo com doze lags não apresenta convergência da função impulso resposta. Entretanto, destaca-se a existência de autocorrelação nos modelos, o que motiva a adoção de outra abordagem prospectivamente.

4.2.2 Função Impulso Resposta

Conforme mencionado previamente na metodologia, as funções de impulso resposta mostram o reflexo nas variáveis estudadas diante um choque em uma variável do sistema em questão. Em linha com o objetivo deste trabalho, as seções a seguir apresentam as respostas da inflação, da SELIC real e da produção industrial frente aos choques na gasolina e na energia elétrica. Realça-se o fato que, uma vez que as variáveis estão todas diferenciadas, observa-se as funções impulso resposta acumuladas.

Como pode ser observado na figura 10, o IPCA reage de acordo com o esperado frente ao choque no preço da gasolina, na medida em que a gasolina compõe uma parcela significativa da cesta de consumo das famílias. Após um impulso inicial positivo, a reação ao choque vai se dissipando ao longo dos meses, estabilizando após 24 meses. Nota-se que o impacto do incremento no preço da gasolina tem efeito inflacionário por aproximadamente oito meses.

A PIM (Figura 11), por sua vez, acumula impacto positivo nos dois meses consequentes ao choque. Entretanto, a partir do terceiro mês, este efeito se inverte, ao acumular contração da produção industrial, até que o choque inicial perca inércia sobre o setor industrial a partir do décimo quarto mês. Uma explicação possível para esse efeito positivo inicial é a dificuldade de ajuste da produção no curtíssimo prazo diante o aumento dos custos, de maneira que a produção industrial possa não ser afetada imediatamente.

A resposta do juros real ao choque da gasolina (Figura 12) é negativa em toda a sua extensão. Em um primeiro momento, com a elevação da inflação, o juros real apresenta tendência de queda até que, no quinto mês, a curva inicia um processo de reversão. Após trinta e seis meses a série estabiliza, porém sem que o juros real passe a atuar no campo positivo, podendo indicar que não ocorre resposta da política monetária na presença do choque, contrariando o observado por (BERNANKE; GETLER; WATSON,

1997). A análise do choque do IPCA reforça a inação da política monetária, uma vez que os juros reais desaceleram conjuntamente à dispersão do choque no IPCA. Uma possível explicação a este fenômeno é que os choques podem ter se configurado como de natureza temporária, de maneira que não exercessem pressão significativa sobre a trajetória de médio prazo da inflação.

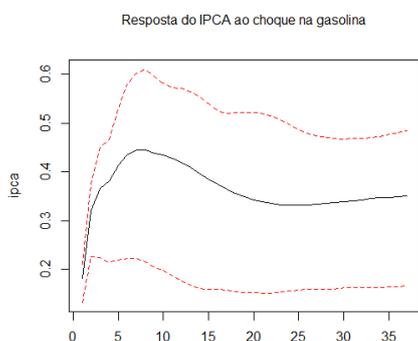


Figura 10 – Resposta do IPCA ao choque no preço da gasolina

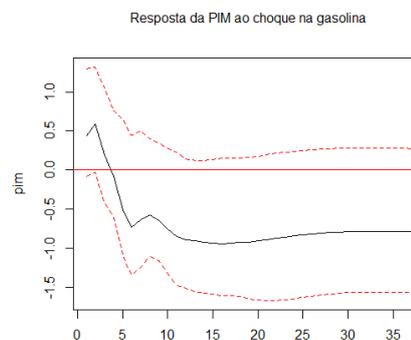


Figura 11 – Resposta do PIM ao choque no preço da gasolina

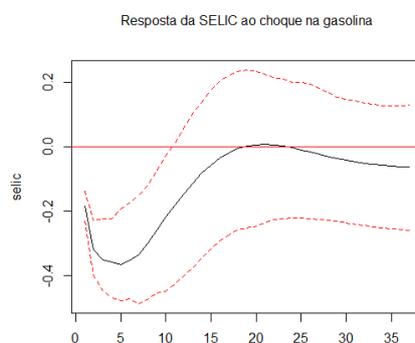


Figura 12 – Resposta da SELIC ao choque no preço da gasolina

Na busca de melhor investigar os choques, adota-se uma outra modelagem para estudar os efeitos da variação no preço dos itens energéticos sobre as variáveis em questão neste trabalho. É estimado um novo modelo, porém desta vez com as séries em nível. Apesar da não estacionariedade das variáveis nestes casos, os VAR estimados satisfazem a condição de estabilidade. Segue o mesmo procedimento dos modelos em primeira diferença.

4.3 VAR em nível - Gasolina

4.3.1 Seleção de Lags

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-1471.116	NA	22.43024	14.46192	14.52698	14.48824
1	-34.23876	2803.319	2.00e-05	0.531753	0.857058	0.663345
2	134.3299	322.2636	4.48e-06	-0.964018	-0.378468*	-0.727152*
3	159.1701	46.51446	4.11e-06	-1.050687	-0.204891	-0.708547
4	169.4251	18.80099	4.35e-06	-0.994364	0.111676	-0.546951
5	210.1619	73.08662	3.42e-06	-1.236882	0.129403	-0.684195
6	220.7750	18.62495	3.61e-06	-1.184069	0.442460	-0.526108
7	232.6999	20.45928	3.77e-06	-1.144116	0.742658	-0.380882
8	248.0307	25.70165	3.81e-06	-1.137556	1.009463	-0.269048
9	268.4682	33.46145	3.67e-06	-1.181061	1.226203	-0.207279
10	294.7030	41.92426	3.34e-06	-1.281402	1.386106	-0.202347
11	326.4390	49.47077*	2.88e-06*	-1.435676*	1.492077	-0.251347
12	333.4603	10.66958	3.17e-06	-1.347650	1.840348	-0.058047

Figura 13 – Teste de critério de informação - Gasolina em nível

Em busca da seleção do modelo mais parcimonioso, o modelo a ser estimado é aquele com duas defasagens, conforme o apontado pelo critério de Schwartz.

4.3.2 Função Impulso Resposta

Como pode ser observado na figura 14, o IPCA reage inicialmente de acordo com o esperado frente ao choque no preço da gasolina. Após efeito inaugural positivo, a reação ao choque vai se dissipando ao longo dos meses, porém decorridos dezoito meses a curva se inverte. Esta reversão pode ser explicada pela elevação do juros real e pela redução do nível da atividade industrial, resultando assim em efeito deflacionário sobre os preços.

A PIM (Figura 15), por outro lado, acumula impacto positivo nos quatro meses seguintes ao choque. A partir do quinto mês, o choque no preço da gasolina passa a exercer pressão negativa sobre a produção industrial, de acordo com o observado em (JIMENEZ-RODRIGUEZ, 2007). Assim como citado previamente, a defasagem com que o choque atinge negativamente a PIM pode ser explicada pelo processo de ajuste na produção na presença de incrementos nos custos.

A resposta do juros real ao choque da gasolina (Figura 16), em oposição à estimada pelo modelo em primeira diferença, se comporta conforme o esperado e observado em (BERNANKE; GETLER; WATSON, 1997). Em um primeiro momento, com a elevação da inflação, o juros real apresenta tendência de queda até que, no terceiro mês, a curva inicia um processo de reversão. Passados dez meses, o juros real passa a operar no campo positivo, apontando resposta da política monetária diante o choque na gasolina.

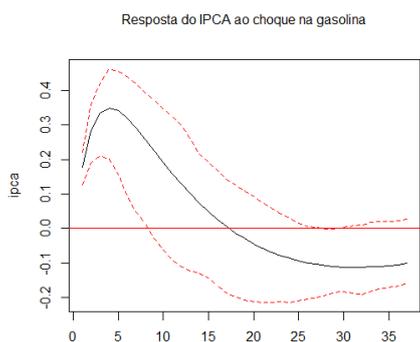


Figura 14 – Resposta do IPCA ao choque no preço da gasolina

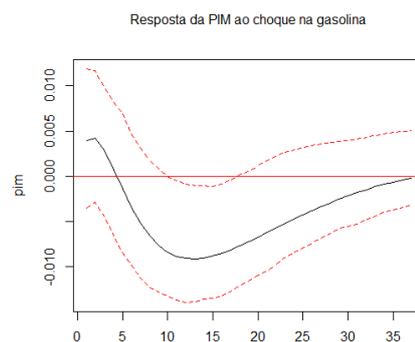


Figura 15 – Resposta do PIM ao choque no preço da gasolina

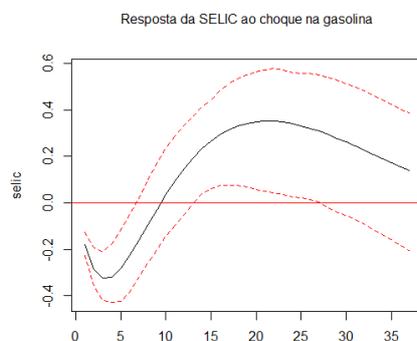


Figura 16 – Resposta da SELIC ao choque no preço da gasolina

4.4 VAR em primeira diferença - Energia Elétrica

4.4.1 Seleção de Lags

O mesmo procedimento é realizado para a energia elétrica. Assim como para a gasolina, o modelo selecionado para a energia elétrica é com quatro defasagens. Também registra-se a presença de autocorrelação no modelo.

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-185.2171	NA	7.58e-05	1.864208	1.929493	1.890620
1	73.51628	504.7213	6.94e-06	-0.527254	-0.200830*	-0.395196
2	106.1261	62.32805	5.89e-06	-0.690897	-0.103333	-0.453192
3	119.7671	25.53490	6.03e-06	-0.667656	0.181047	-0.324305
4	166.9078	86.38599	4.44e-06	-0.974461	0.135381	-0.525463*
5	183.0268	28.90301	4.44e-06	-0.975633	0.395348	-0.420989
6	194.6859	20.44656	4.65e-06	-0.932866	0.699255	-0.272575
7	202.2917	13.03843	5.06e-06	-0.850164	1.043096	-0.084227
8	211.7299	15.80788	5.42e-06	-0.785516	1.368883	0.086068
9	236.4613	40.44730	5.00e-06	-0.871539	1.544000	0.105691
10	257.3278	33.30428	4.79e-06	-0.919486	1.757193	0.163391
11	267.9468	16.53009	5.09e-06	-0.866471	2.071347	0.322053
12	305.4940	56.96809*	4.15e-06*	-1.078758*	2.120199	0.215412

Figura 17 – Teste de critério de informação - Energia Elétrica em primeira diferença

4.4.2 Função Impulso-Resposta

Assim como para a gasolina, o choque inicial na energia elétrica tem efeito acumulado positivo sobre o IPCA (Figura 18). Diferente do choque da gasolina, o da energia elétrica tem menor impacto sobre o índice de preços.

A produção industrial (Figura 19) apresenta reação inicial próxima a neutralidade na presença do choque. A partir do segundo mês, esta passa a acumular resposta negativa que estabiliza passados onze meses do impulso. O resultado encontrado está em linha com o apresentado na metodologia e o esperado, mostrando como as variáveis energéticas podem ser fatores de pressão sobre o setor industrial.

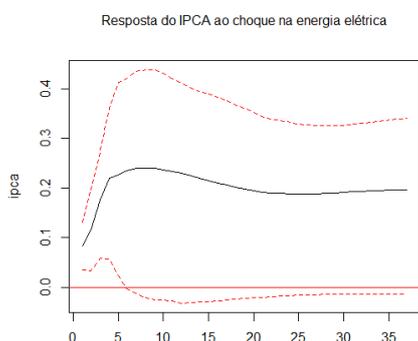


Figura 18 – Resposta do IPCA ao choque no preço da energia elétrica

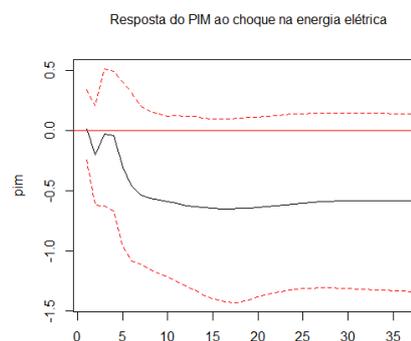


Figura 19 – Resposta do PIM ao choque no preço da energia elétrica

Na figura 20, é possível observar o efeito sobre o juros real de um choque positivo no preço da energia elétrica. Inicialmente, o juros real apresenta trajetória negativa, em razão do efeito inflacionário do aumento do preço da energia elétrica. Entretanto, após cinco períodos, observa-se uma inversão da trajetória, porém sem que os juros apresentem resposta positiva diante o choque. Portanto, a mudança de tendência pode ser explicada pelo arrefecimento da inflação, reflexo da dissipação do choque. Da mesma maneira que para o preço da gasolina, a resposta obtida não aponta reação da política monetária frente ao choque.

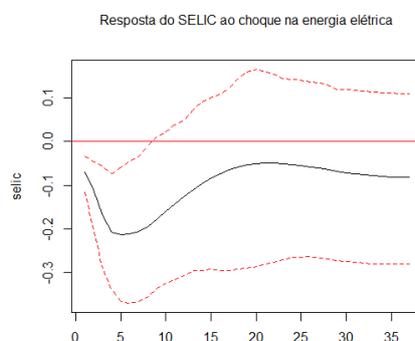


Figura 20 – Resposta da SELIC ao choque no preço da energia elétrica

4.5 VAR em nível - Energia Elétrica

4.5.1 Seleção de Lags

Da mesma maneira que para o modelo de gasolina, seleciona-se o modelo com duas defasagens.

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-2450.521	NA	331844.2	24.06393	24.12899	24.09025
1	-964.6074	2898.988	0.182966	9.653014	9.978320	9.784606
2	-788.0519	337.5326	0.037918	8.078940	8.664491*	8.315806*
3	-762.0314	48.72457	0.034386	7.980700	8.826496	8.322840
4	-752.1136	18.18276	0.036530	8.040329	9.146369	8.487742
5	-710.2810	75.05257	0.028396	7.787069	9.153353	8.339756
6	-693.1409	30.07923	0.028137	7.775891	9.402420	8.433852
7	-682.5258	18.21207	0.029746	7.828685	9.715459	8.591919
8	-671.0204	19.28856	0.031201	7.872749	10.01977	8.741257
9	-659.7895	18.38786	0.032851	7.919505	10.32677	8.893286
10	-636.7409	36.83251	0.030841	7.850401	10.51791	8.929457
11	-608.3291	44.28906*	0.027507*	7.728716*	10.65647	8.913045
12	-600.2081	12.34061	0.029979	7.805962	10.99396	9.095565

Figura 21 – Teste de critério de informação - Energia Elétrica em primeira diferença

4.5.2 Função Impulso-Resposta

O choque inicial na energia elétrica tem resposta positiva sobre o IPCA (Figura 22), com menor impacto sobre o índice de preços do que o da gasolina. Entretanto, é mais prolongado. Isto pode se dar devido a dois fatores: a ausência imediata de bens substitutos - diferente da gasolina que pode ser substituída pelo álcool ou etanol - e ao aumento de custos em diversas esferas da economia, como na produção de alimentos e no setor de serviços.

A PIM (Figura 23) apresenta reação inicial próxima a neutralidade na presença do choque. A partir do segundo mês, o resultado passa a ser negativo, com maior intensidade nos dezesseis meses preambulares. A resposta reforça a importância da energia elétrica no processo de produção e, conseqüentemente, sobre os custos.

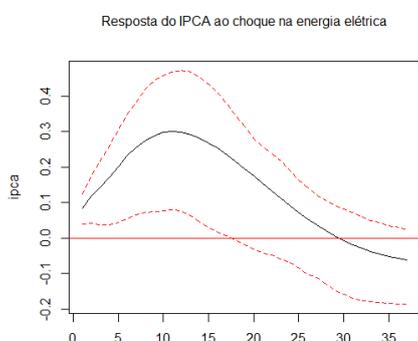


Figura 22 – Resposta do IPCA ao choque no preço da energia elétrica

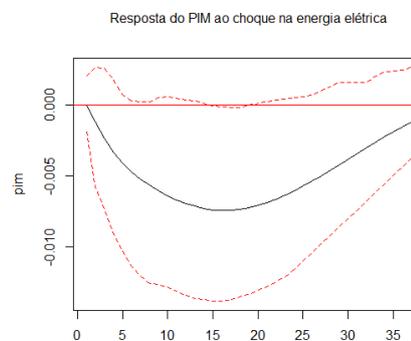


Figura 23 – Resposta do PIM ao choque no preço da energia elétrica

Na figura 24, é possível observar o efeito sobre o juros real de um choque positivo no preço da

energia elétrica. A resposta é muito similar à observada para a gasolina, reforçando o papel da atuação da política monetária, ao invés do que foi registrado nas funções de impulso resposta das variáveis em primeira diferença.

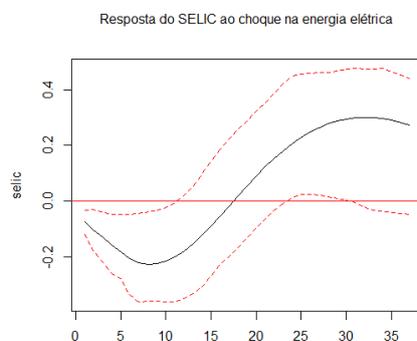


Figura 24 – Resposta da SELIC ao choque no preço da energia elétrica

Os modelos com as variáveis em nível aparentam apresentar respostas mais próximas aquelas discutidas na literatura e com a teoria econômica. Apesar disso, a presença de autocorrelação nos modelos ainda é um problema. A tabela a seguir consolida os resultados do teste de Portmanteau de correlação serial. Observa-se que em todas as modelagens detecta-se a presença de autocorrelação, porém as que utilizam as variáveis em primeira diferença apresentam menores estatísticas.

Teste Portmanteau		
Modelo	Qui-Quadrado	P-valor
Gasolina em nível	408.63	0.000
Gasolina em primeira diferença	288.40	0.000
Energia Elétrica em nível	440.29	0.000
Energia Elétrica em primeira diferença	307.58	0.000

Tabela 2 – Teste de Portmanteau para Correlação Serial

5 Análise de Evidências

De modo a observar como as variáveis estudadas no VAR se comportam diante de choques adversos no preço da energia elétrica e da gasolina, adota-se também uma abordagem analítica, especialmente devido aos problemas apresentados pelos modelos, conforme relatado no capítulo de resultados. Desta maneira, são selecionados três eventos para cada uma das fontes energéticas. A seleção é realizada a partir dos resíduos estruturais de cada um dos modelos VAR estimados previamente. Um fato a ser observado é a maior frequência e intensidade de choques, principalmente na gasolina, a partir de 2011. A mudança de direção da política econômica no Brasil, o esgotamento do ciclo positivo do preço de commodities, redução do ritmo de crescimento econômico e o aumento de eventos climáticos adversos são alguns fatores que aumentaram a instabilidade dentro do sistema econômico brasileiro.

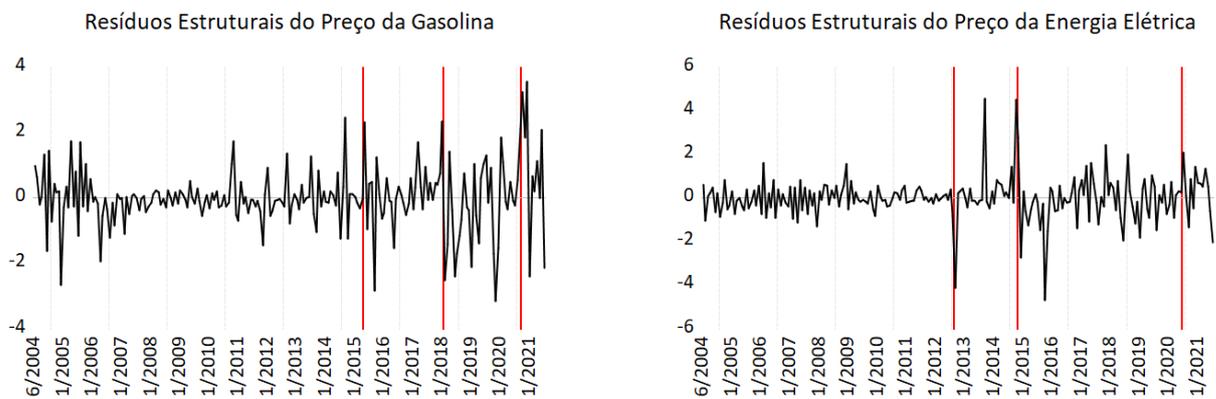


Figura 25 – Resíduos Estruturais

Para a energia elétrica, as datas selecionadas são fevereiro de 2013 - resultado da MP 579 -, março de 2015 - reflexo da adequação do preço da energia elétrica diante a crise hídrica ocorrida em 2014 - e dezembro de 2020 - motivada pela pior crise hídrica em 91 anos. Pelo lado da gasolina, os momentos escolhidos são outubro de 2015 - na ocasião em que houve correção do preço médio mensal em 6,0% -, julho de 2018 - redução do preço da gasolina à luz dos protestos da Greve dos Caminhoneiros - e março de 2021 - devido ao crescimento de 10,7% do preço médio da gasolina, em razão da expansão da cotação internacional do petróleo e da desvalorização do câmbio. Destaca-se a maior variabilidade dos resíduos do modelo de gasolina, especialmente a partir do período de 2016, com a alteração da política de preços da Petrobras, resultando em um número maior de choques, de forma a acrescentar maior instabilidade ao sistema econômico brasileiro. O aumento dos casos de choque na gasolina explicam, em parte, a inconsistência das respostas obtidas pelas funções de impulso resposta, em particular para a SELIC real e para a produção industrial (PIM). A seguir são discutidos os efeitos de cada um destes eventos selecionados sobre as variáveis estudadas neste trabalho. Os gráficos apresentam as variações mensais das variáveis. A opção por essa abordagem é para que possa ser visualizado o impacto direto inicial sobre a inflação e a produção industrial e observar se o choque altera a trajetória do juro real.

5.1 Análise dos choques no preço da gasolina

No mês de outubro de 2015, o preço médio da gasolina passou por reajuste de 6,0%. O incremento ocorre em um momento em que a desvalorização cambial, em razão da crise econômica, e a crise institucional que atravessava a Petrobras pressionavam os resultados da empresa. Como pode se ver, a inflação já vinha acelerando nos meses pretéritos ao aumento do preço da gasolina, motivados também pelo ajustes de diversas tarifas no início do ano. A SELIC real, por outro lado, também seguia trajetória ascendente, uma vez que, ao longo de 2015, foi elevada em 2,5 pontos percentuais, encerrando o ano em 14,15%. Já a PIM, afetada pela crise econômica, operava majoritariamente no campo negativo, de tal maneira que em outubro de 2016 (data final da figura 26) registrava contração acumulada em 12 meses de 8,9%.

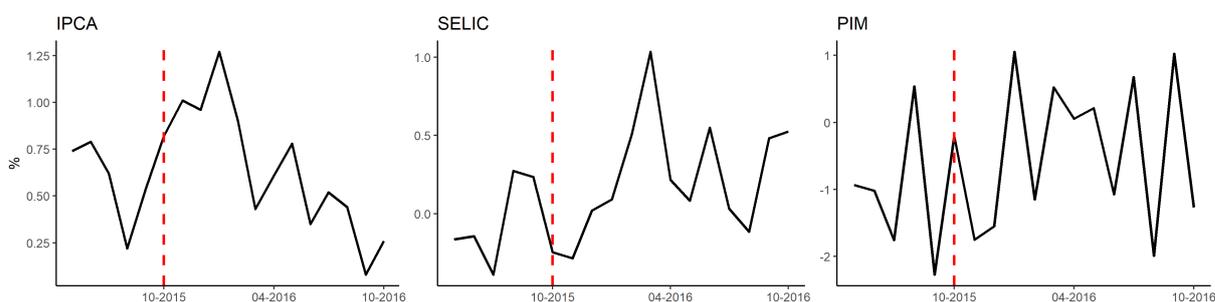


Figura 26 – Outubro de 2015

No mês de julho de 2018, o preço médio da gasolina sofreu redução de 1,3%. Apesar de não aparentar expressivo, o contexto em que se localiza o ajuste do preço é de extrema relevância para a economia brasileira. Entre 21 e 30 de maio, ocorreu a Greve dos Caminhoneiros, uma paralisação liderada por caminhoneiros autônomos em protesto ao reajuste diário e sem previsibilidade do preço dos combustíveis por parte da Petrobras. Os protestos resultaram na indisponibilidade de alimentos, insumos e remédios ao redor do país, assim como no aumento do preço da gasolina nos postos para os consumidores. No mês seguinte à redução do preço da gasolina, o IPCA apresentou deflação, assim como em novembro, quando houve nova redução do preço médio da gasolina, em 2,69%. A PIM registrou contração nos dois meses seguintes. Os juros reais, no entanto, seguiram trajetória descendente, resultado da resposta neutra do Banco Central diante do evento.

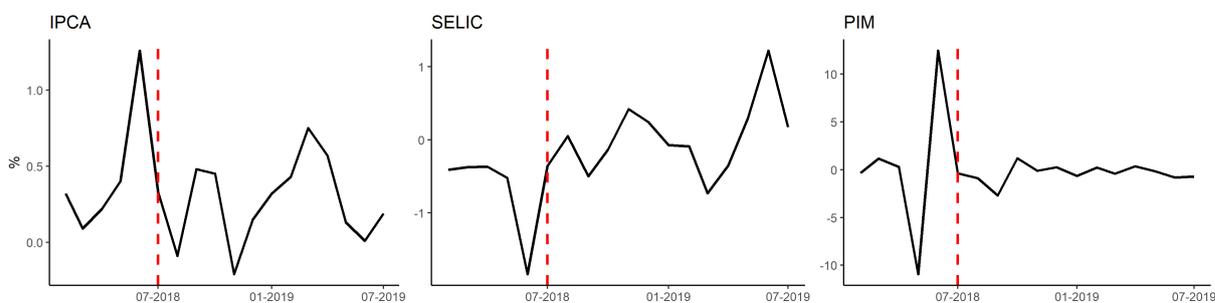


Figura 27 – Julho de 2018

O último evento identificado é o de março de 2021, quando houve incremento de 10,76% no preço médio da gasolina. A redução gradual de medidas de distanciamento social em diversos países, principalmente nos últimos meses de 2020, impulsionou o preço do barril do petróleo, de maneira que este

acumulou alta de, aproximadamente, 76% entre novembro de 2020 e fevereiro de 2021, pressionando o preço no mercado interno brasileiro. Os meses que sucederam o choque foram marcados por crescimento da inflação, principalmente no segundo semestre do ano, em razão da retomada mais intensa da atividade econômica e da expansão da cotação internacional de *commodities*, assim como pelo aumento da tarifa de energia elétrica. A PIM, em contrapeso, observou contração mensal na grande maioria dos meses seguintes, resultado da pressão de custos que afetava o setor na medida em que as cadeias globais de suprimento ainda não haviam se recuperado do choque inicial da pandemia do Covid-19. Os juros reais mantiveram-se em patamar negativo nos meses consequentes. No último trimestre de 2021, inicia-se uma reversão na curva, motivada pela elevação em 4,25 pontos percentuais da meta para a SELIC entre março e outubro de 2021.

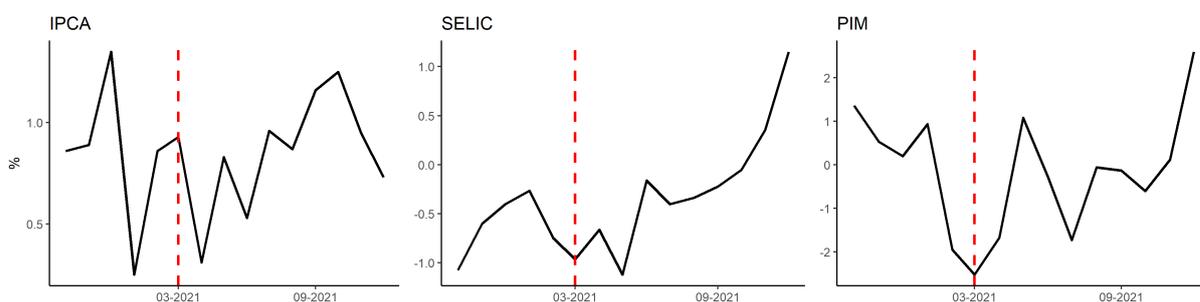


Figura 28 – Março de 2021

5.2 Análise dos choques no preço da energia elétrica

Em fevereiro de 2013, a tarifa energética sofreu redução de 14,1%, em virtude da edição da Medida Provisória 579 de 11 de setembro de 2012. Esta medida tinha como objetivo viabilizar a redução do custo da energia elétrica para o consumidor brasileiro. Em busca de impulsionar o desenvolvimento do país, principalmente do setor industrial, foram adotadas medidas para proporcionar o desconto da tarifa de energia elétrica e incentivar a renovação das concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Como resultado, houve a desaceleração das taxas de crescimento da inflação nos meses seguintes, porém sem apresentação de deflação, diferente do proposto pela função de impulso resposta (Figura 24). A produção industrial, medida pela PIM, apresentou crescimento nos dois meses sucessivos ao choque, indicando sinais positivos da redução da tarifa no curto prazo. Por outro lado, os juros reais seguiram trajetória crescente após o ajuste da tarifa na medida em que a taxa SELIC foi elevada em 2,25 pontos percentuais ao longo do ano de 2013, com o objetivo de convergir para a meta a inflação.

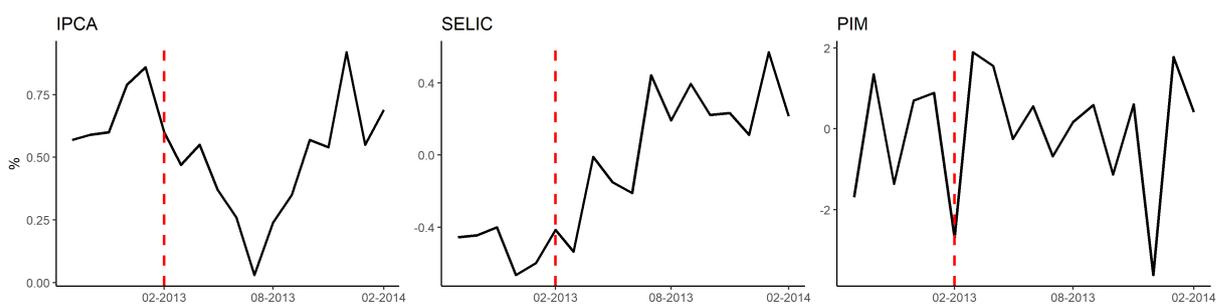


Figura 29 – Fevereiro de 2013

Em março de 2015, o modelo captura um choque exógeno no preço da energia elétrica, que sofreu

elevação do preço em 8,8%. A correção do preço foi reflexo do congelamento dos preços ocorrido no ano anterior, devido às eleições em 2014. Um segundo fator de pressão à tarifa da energia elétrica foi a crise hídrica que assolou a região Sudeste ao longo do ano de 2014. Os meses que sucederam os dois choques foram marcados por: desaceleração da inflação, entretanto esta ainda encerrou o ano com crescimento de 10,67%, maior valor desde 2002. O menor ritmo de crescimento dos preços nos meses seguintes pode ser motivado pela intensidade inicial do impacto no IPCA, de 1,32% no mês de março; a produção industrial foi severamente afetada, virtude da política de racionamento de água e do aumento do custo de insumos, de modo que encerrou o ano com contração de 8,3% em comparação com 2014. O movimento dos juros reais ocorre em linha com o estimado pela função impulso resposta do modelo de energia elétrica (Figura 24), apesar da função não apresentar significância. Apesar da importância dos choques energéticos, fatores institucionais exerciam influência sobre o desempenho da economia brasileira à época, de modo que o país passou por uma recessão severa entre os anos de 2015 e 2016.

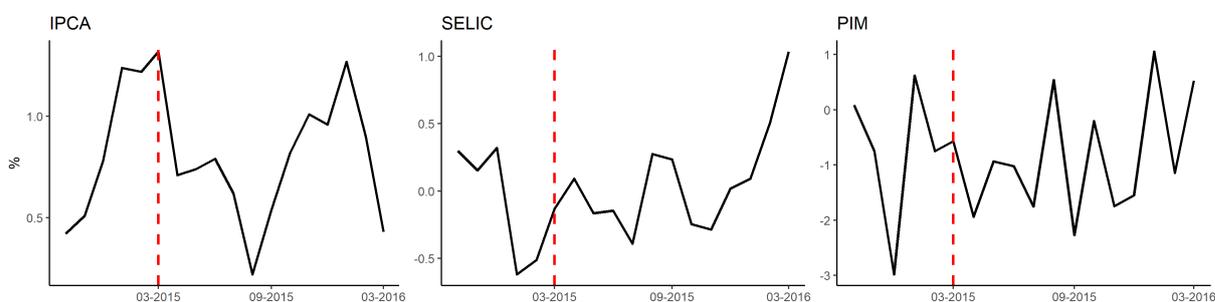


Figura 30 – Março de 2015

No mês de dezembro de 2020, a tarifa da energia elétrica passou por reajuste de 6,08%. O aumento do preço foi reflexo do pior período úmido dos últimos 91 anos, afetando especialmente as bacias do Sudeste e do Centro-Oeste. A inflação manteve resultados positivos após o choque, motivados também por uma flexibilização temporária das medidas de restrição à mobilidade em razão da pandemia de covid-19. A SELIC real, que se encontrava em patamar negativo, em resposta ao choque inicial do coronavírus, seguiu em queda, revertendo o cenário apenas ao final de 2021. A PIM, ainda se recuperando do fechamento da economia nos meses de março e abril, operava entre altas e baixas.

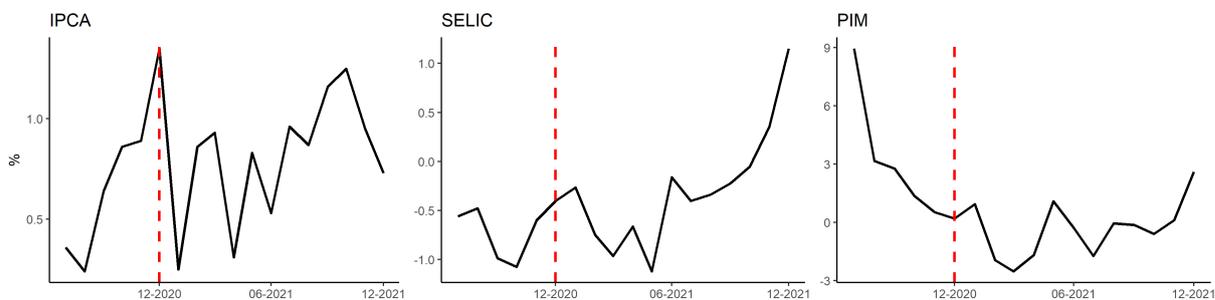


Figura 31 – Dezembro de 2020

6 Conclusão

A importância das variáveis energéticas na economia é amplamente aceita. A extensão de seus efeitos, por outro lado, apresenta controvérsias. No presente estudo foram apresentados diversos canais os quais a gasolina e a energia elétrica podem afetar três indicadores da economia brasileira: a produção industrial, inflação e os juros reais.

De maneira geral, observou-se que os choques nas variáveis aparentam estar em linha com a teoria econômica. Pelo lado da energia, o efeito sobre a produção industrial aparenta ser mais significativo que o da gasolina. Os efeitos sobre a inflação e, conseqüentemente, sobre os juros indicam relevância.

Pelo lado da gasolina, destaca-se seu maior efeito sobre os preços e a política monetária. Assim como no caso da energia elétrica, a PIM não indica sinais de que sofra pressões significativas advindas da elevação dos custos relacionados à energia. Diante disso, a inclusão de outras variáveis que possam medir o nível de atividade econômica, como o PIB ou o Índice de Atividade Econômica do Banco Central (IBC-Br), podem incrementar a análise.

Posto isso, conclui-se que ambas as fontes energéticas exercem influência considerável principalmente sobre o nível de preços e, logo, sobre a política monetária do país. A política de preços adotada pela Petrobras adicionou volatilidade ao preço da gasolina, uma vez que está sob ascendência da cotação internacional e a flutuação do câmbio. Os momentos de instabilidade do preço da energia elétrica, por sua vez, se originam em fatores climáticos, já que as hidrelétricas compõem a maior fonte de geração desta fonte.

Portanto, ao se considerar as sequelas da aceleração dos preços e o papel da geração de energia barata e limpa para impulsionar o crescimento, faz-se necessária a discussão de ampliação e diversificação da matriz energética brasileira, de modo a evitar gargalos e reduzir custos sobre a produção e sobre o orçamento das famílias.

Referências

- ANEEL. Resolução Normativa, *Resolução Normativa ANEEL n. 547, de 16 de abril de 2013. Estabelecer os procedimentos comerciais para aplicação do sistema de bandeiras tarifárias*. 2013.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. Vetores auto-regressivos. *Relatório de Inflação*, p. 106, Junho 2004.
- BARSKY, R. B.; KILIAN, L. Oil and the macroeconomy since the 1970s. *Journal of Economic Perspectives*, v. 18, n. 4, p. 115–134, 2004.
- BERNANKE, B. S. Irreversibility, uncertainty, and cyclical investment. *The quarterly journal of economics*, MIT Press, v. 98, n. 1, p. 85–106, 1983.
- BERNANKE, B. S.; GETTLER, G.; WATSON, M. W. Systematic monetary policy and the effects of oil price shocks. *Brookings Papers on Economic Activity*, Brookings Institution, v. 1997, n. 2, p. 91–157, 1997.
- BRASIL. Lei, *Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997. Regula as atividades de pesquisa, lavra e produção de petróleo e gás natural*. 1997.
- BRASIL. Lei, *Lei nº 12.738, de 28 de dezembro de 2012. Dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais e sobre a modicidade tarifária; altera as Leis nº s 10.438, de 26 de abril de 2002, 12.111, de 9 de dezembro de 2009, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e 10.848, de 15 de março de 2004; revoga dispositivo da Lei nº 8.631, de 4 de março de 1993; e dá outras providências*. 2013.
- CARMINATI, J. G. d. O.; SCALCO, P. R. Relações de causalidade entre energia e crescimento econômico no Brasil. Brasil, 2013.
- CASHIN, P. et al. The differential effects of oil demand and supply shocks on the global economy. *IMF Working Papers*, v. 12, 10 2012.
- COLOGNI, A.; MANERA, M. Oil prices, inflation and interest rates in a structural cointegrated VAR model for the G-7 countries. *Energy Economics*, Elsevier, v. 30, n. 3, p. 856–888, 2008.
- DARBY, M. The price of oil and world inflation and recession. *American Economic Review*, American Economic Association, v. 72, n. 2, p. 459–484, 1982.
- EBOHON, O. J. Energy, economic growth and causality in developing countries: a case study of Tanzania and Nigeria. *Energy Policy*, Elsevier, v. 24, n. 5, p. 447–453, 1996.
- ENDERS, W. *Applied econometric time series*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2008.
- HAMILTON, J. D. Oil and the macroeconomy since World War II. *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, v. 91, n. 2, p. 228–248, 1983. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1832055>>.
- JIMENEZ-RODRIGUEZ, R. The industrial impact of oil price shocks: Evidence from the industries of six OECD countries. *Banco de España Research Paper No. WP-0731*, 2007.
- KILIAN, L. The economic effects of energy price shocks. *Journal of Economic Literature*, v. 46, n. 4, p. 871–909, 2008.
- KILIAN, L. Not all oil price shocks are alike: Disentangling demand and supply shocks in the crude oil market. *American Economic Review*, v. 99, n. 3, p. 1053–69, 2009.
- MEDEIROS, E. R. de; CATEIA, J. V.; HASEGAWA, M. M. Impactos dos choques do petróleo sobre a economia brasileira (2002-2015). *Revista Brasileira de Energia/ Vol*, v. 27, n. 1, 2021.
- PFÄFF, B. *Analysis of integrated and cointegrated time series with R*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2008.
- SIMS, C. A.; STOCK, J. H.; WATSON, M. W. Inference in linear time series models with some unit roots. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, JSTOR, p. 113–144, 1990.

SINGH, K.; INGLES-LOTZ, R. et al. The role of energy poverty on economic growth in sub-saharan african countries. *Economics of Energy & Environmental Policy*, International Association for Energy Economics, v. 10, n. 1, p. 105–122, 2021.

STERN, D. I.; KANDER, A. The role of energy in the industrial revolution and modern economic growth. *The Energy Journal*, International Association for Energy Economics, v. 33, n. 3, 2012.