



ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE PARIDADE INTERNACIONAL DE PREÇOS (PPI) DO PETRÓLEO E OS RETORNOS DAS AÇÕES DA PETROBRAS

Maria das Graças Barros Franchini

Leonardo Bornacki de Mattos

Resumo: O estudo investiga a relação entre a paridade internacional de preços do petróleo e os retornos das ações da Petrobras (PETR4), com foco em analisar se os impactos da política de Preços por Paridade de Importação (PPI) modificaram a estrutura dos retornos das ações PETR4. Utilizando um modelo TARARCH (1,1) para capturar efeitos assimétricos na volatilidade e o teste de Bai e Perron (2003) para identificar quebras estruturais, foram analisados dados de 2010 a 2020. Os resultados indicam que choques negativos têm maior impacto na volatilidade do que choques positivos. Além disso, quatro quebras estruturais foram detectadas, sendo duas durante a vigência da PPI, mas sem evidências de que a política tenha influenciado diretamente a volatilidade dos retornos. O estudo contribui ao integrar modelagem de volatilidade condicional e análise de quebras estruturais, ampliando a compreensão sobre os determinantes do mercado financeiro brasileiro.

Palavras-chave: Petrobras. TARARCH. Quebras estruturais.

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN INTERNATIONAL OIL PRICE PARITY AND PETROBRAS STOCK RETURNS

Abstract: The paper investigates the relationship between international oil price parity and Petrobras (PETR4) stock returns, focusing on whether the impacts of the Import Parity Pricing (PPI) policy modified the structure of PETR4 stock returns. Using a TARARCH (1,1) model to capture asymmetric effects in volatility and the Bai and Perron (2003) test to identify structural breaks, data from 2010 to 2020 were analyzed. The results indicate that negative shocks have a greater impact on volatility than positive shocks. Furthermore, four structural breaks were detected, two of which occurred during the PPI's effective period, but without evidence that the policy directly influenced the volatility of the returns. The study contributes by integrating conditional volatility modeling and structural break analysis, broadening the understanding of the determinants of the Brazilian financial market.

Keywords: Petrobras. TARARCH. Structural break.



1. INTRODUÇÃO

O petróleo e o gás natural são as principais fontes de energia primária do mundo e devem continuar sendo nos próximos vinte anos, mesmo sob maiores restrições ambientais (Mendes e Teixeira, 2018). Estima-se que, em 2020, o Setor de Óleo e Gás foi responsável por cerca de 13% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, representando 50% da oferta interna de energia (Ministério de Minas e Energia, 2024). De acordo com Silva (2011), acredita-se que a vasta utilização do petróleo se deve à abundância de poços e reservas existentes e também à falta de alternativas de igual qualidade e disponibilidade. Atualmente, o petróleo é utilizado como matéria prima de uma extensa variedade de produtos, que se estendem dos combustíveis aos bens industriais, o que o torna um dos produtos mais importantes para a economia mundial.

Nesse contexto global, destaca-se a atuação da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), composta por dez países responsáveis por administrar a produção, exportação e importação do produto. Em 2023, a OPEP detinha cerca de 70% das reservas globais, conferindo-lhe grande poder de influência sobre a oferta e os preços internacionais do petróleo (Silva, 2023). Essa capacidade de regulação tem impacto direto nas economias nacionais, especialmente naquelas fortemente dependentes do insumo energético.

No Brasil, a Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras) desempenha papel central na exploração, produção e refino de petróleo, bem como no tratamento de gás natural. A empresa ocupa posição de destaque no mercado financeiro, sendo a segunda de maior peso no índice Ibovespa, o principal indicador das ações negociadas na bolsa brasileira (BM&F BOVESPA). De capital aberto e natureza mista, a Petrobras tem 51% de suas ações sob controle estatal e 49% distribuídas entre acionistas nas bolsas do Brasil, dos Estados Unidos (NYSE) e da Espanha (Latibex).

Ao longo das últimas décadas, a indústria petroleira brasileira recebeu expressivos investimentos, tanto em tecnologia quanto em infraestrutura, com ampla participação governamental e significativa geração de empregos. Em meados de 2006, a descoberta da camada do pré-sal reposicionou o Brasil estrategicamente no cenário energético mundial, fazendo com que a produção nacional saltasse de 41 mil barris por dia em 2010 para cerca de 1,9 milhão em 2020 (Ministério de Minas e Energia, 2025). No entanto, os elevados custos de exploração dessa camada exigem a realização de leilões, nos quais participam empresas nacionais e internacionais, para viabilizar economicamente a extração do produto.

Entre os fatores determinantes para o desempenho do setor petroleiro, está o sistema de precificação adotado pelas empresas. Em mercados livres, o preço de um produto é definido com base na estrutura de custos, nas margens de lucro e nas estratégias de concorrência de cada agente (Delgado e Gauto, 2021). No caso dos combustíveis, a cotação do petróleo (principal insumo) é a principal referência. Para a Petrobras, a política de preços é influenciada tanto pelo mercado financeiro quanto pelo governo, que tem autoridade para definir o modelo de precificação a ser seguido, buscando equilibrar os preços internos com os valores praticados no mercado internacional (Torre et al., 2023).



O mercado de commodities, contudo, é caracterizado por forte volatilidade, decorrente de flutuações na oferta, na demanda e nas expectativas dos agentes globais, o que confere um componente especulativo aos preços. Entre 2002 e 2016, o governo brasileiro, por meio da Petrobras, atuou para suavizar essas variações, mantendo os preços internos estáveis por longos períodos (Delgado e Gauto, 2021). Essa estratégia, entretanto, foi substituída em 2016 pela Política de Preços por Paridade de Importação (PPI), vigente até 2023, segundo a qual os preços internos passaram a seguir as oscilações internacionais, sem intervenção estatal. Tal mudança expôs o mercado doméstico aos efeitos de choques externos e da volatilidade cambial.

A adoção da PPI teve como objetivo principal alinhar o preço dos combustíveis vendidos no mercado interno ao valor de importação, considerando a cotação internacional do barril de petróleo Brent, os custos logísticos e a taxa de câmbio (Petrobras, 2018). Essa política buscava atrair concorrência e equilibrar o mercado de refino, incentivando a participação de importadores privados, uma vez que, até então, a Petrobras absorvia prejuízos ao vender combustíveis abaixo do preço internacional. No entanto, a paridade trouxe consequências significativas: os reajustes tornaram-se mais frequentes e intensos, refletindo as oscilações cambiais e as tensões geopolíticas internacionais, como as crises de oferta da OPEP e o conflito entre Rússia e Ucrânia. Diante disso, a dinâmica aumentou a volatilidade dos preços dos derivados, impactando diretamente os custos de transporte e o nível geral de preços na economia brasileira (Confederação Nacional do Transporte, 2022; Instituto de Estudos Estratégicos de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – INEEP, 2023).

Com o fim da PPI, em 2023, a Petrobras passou a adotar novas referências para a precificação, baseadas em práticas de mercado e no custo marginal, mantendo reajustes sem periodicidade fixa, mas buscando reduzir o repasse imediato das variações cambiais e internacionais aos preços internos (Torre et al., 2023). Paralelamente, a abertura econômica brasileira, intensificada a partir do final do século XX, atraiu novas empresas para o mercado de refino e comercialização, antes dominado pela estatal. Ainda assim, a Petrobras continua responsável pela maior parte da produção e distribuição nacional, consolidando sua importância estratégica (Torre et al., 2023).

A adoção de diferentes políticas de preços ao longo do tempo gerou impactos diretos sobre os consumidores. Acostumada a longos períodos sem reajustes, a população reagiu negativamente às variações sucessivas que marcaram a vigência da PPI, o que se evidenciou, por exemplo, na greve dos caminhoneiros em 2018. O petróleo, portanto, permanece como uma commodity estratégica para a economia mundial e, em especial, para o Brasil, cuja matriz de transporte depende majoritariamente do modal rodoviário (Delgado e Gauto, 2021).

Diante desse panorama, o presente estudo busca analisar se a adoção da Política de Preços por Paridade de Importação (PPI) impactou a volatilidade dos retornos das ações da Petrobras (PETR4). Para isso, serão utilizados modelos de heterocedasticidade condicional e o teste de Chow, de modo a contribuir para a literatura sobre a relação entre políticas de preços e o comportamento do mercado financeiro. Além desta introdução, o trabalho está estruturado em quatro seções: (i) evidências teóricas e empíricas; (ii) dados e metodologia; (iii) resultados; e (iv) conclusão.

2. EVIDÊNCIAS TEÓRICAS

De acordo com o estudo realizado por Delgado e Gauto (2021) o descolamento de preços entre o mercado internacional e os praticados no mercado brasileiro, em especial de 2011 a 2014, por interferência estatal, trouxe como consequências negativas redução do caixa da Petrobras, baixos investimentos privados em refino, em infraestrutura de importação e exportação de derivados, além de reflexos negativos para o setor sucroalcooleiro, o que se deve ao fato de que o controle de preços pelo Estado é considerado maléfico pelo setor privado.

Apesar de ser menos comum, principalmente na literatura mais recente, também é possível encontrar estudos que analisem os impactos dos preços do petróleo sobre os retornos de ações. Torre *et al.* (2023) analisaram a relação entre a paridade de preços com o mercado internacional e a política de preços da Petrobras e suas implicações para a sociedade brasileira. Segundo os autores, o período de represamento dos preços dos combustíveis resultou em desequilíbrio financeiro para a empresa, provocando prejuízos significativos, reduzindo os retornos da empresa, e gerando distorções no mercado.

Silva (2011), utilizando os preços mensais de fechamento do petróleo futuro e das ações PETR4, buscou explicar duas hipóteses: a existência de relação contemporânea e a existência de efeito *lead-lag* entre as duas variáveis. Aplicando um modelo GARCH, um VEC e o Teste de Causalidade de Granger o autor constatou uma causalidade unidirecional do petróleo para com os retornos da Petrobras, de forma que os valores passados do retorno do petróleo são úteis para a previsão dos retornos das ações da Petrobras.

Gogineni (2009) investigou o impacto diário das variações no preço do petróleo sobre o retorno das ações da indústria, de maneira individual. Seus resultados indicaram que diferentes tipos de indústria, independentemente do nível de dependência que apresentam em relação ao petróleo, são influenciadas por variações nos preços da *commodity*, devido ao fato de que os principais clientes desses diferentes tipos de indústrias são impactados de alguma forma pelos preços do petróleo.

De maneira semelhante, Aurori e Jawadi (2010) analisaram a relação de curto e longo prazo entre os preços do petróleo e o mercado de ações europeu e seus resultados indicaram que o efeito sobre os retornos das ações depende do setor de atividade da empresa, mas que a relação é significativa. Analogamente, Aurori e Fouquau (2009) encontraram uma relação significativa entre as variáveis no mercado de ações dos países do Golfo.

No que se refere aos estudos realizados que relacionaram o mercado de ações a quebras estruturais, Boyer e Fillion (2007) avaliaram os determinantes financeiros dos retornos das ações de 105 empresas canadenses de petróleo e gás, para o período que se estende do primeiro trimestre de 1995 até o terceiro trimestre de 2002. Os autores empregaram o método de Mínimos Quadrados Generalizados (GLS) e cinco variáveis explicativas, consideradas como fatores comuns capazes de influenciar as empresas de ambos os setores de interesse. Além disso, os autores analisaram a hipótese de uma quebra estrutural no ano de 1999, considerado um período de transição no Canadá. Finalmente, os coeficientes das *dummies* indicaram uma mudança significativa entre 1995-1998 e 2000-2002.

O estudo de Gupta (2016), através de uma modelagem hierárquica para o período de 1983 a 2014, revelou que choques nos preços do petróleo e choques macroeconômicos exercem impactos significativos nos retornos das ações de empresas do setor de petróleo e gás. O

trabalho aponta para o fato de que a magnitude da sensibilidade varia de acordo com o nível de competitividade da indústria e a localização das empresas, sendo que empresas situadas em países ricos em petróleo demonstram maior vulnerabilidade às oscilações nos preços do petróleo e ao estresse do mercado. Por outro lado, empresas que enfrentam menor concorrência apresentam menor sensibilidade a essas variações em comparação às que atuam em ambientes altamente competitivos. Além disso, empresas de indústrias não competitivas são menos impactadas por quedas nos preços do petróleo do que aquelas inseridas em indústrias de alta.

Fasanya *et al.* (2021) exploraram a relação entre os preços do petróleo e os retornos do mercado de ações nos países do Conselho de Cooperação do Golfo (CCG), usando modelos ARDL simétrico e não linear, para dados semanais no período de 1992 a 2016, além de incorporar a análise de rupturas estruturais empregando o teste de Bai e Perron (2003). Os resultados encontraram respostas assimétricas significativas dos mercados de ações às variações nos preços do petróleo, bem como rupturas importantes, nos anos de 1999 e 2008. Além disso, os autores destacaram o papel da atividade econômica global e dos riscos geopolíticos como fatores que influenciam o comportamento dos mercados de ações na região, enfatizando a importância de políticas econômicas que considerem essas especificidades estruturais, contribuindo para a compreensão da interdependência entre o mercado de petróleo e os mercados financeiros em economias altamente dependentes desse recurso.

O estudo de Abdennadher e Hallara (2021), diante das evidências de mudanças no processo de variância condicional, destacou a importância de testar a volatilidade em mercados financeiros diante de possíveis quebras estruturais. As autoras analisaram a volatilidade dos mercados emergentes entre abril de 2005 e março de 2015, utilizando o método de Bai e Perron para identificar múltiplas quebras estruturais. Seus resultados revelam quebras significativas na volatilidade da maioria dos mercados, com coeficientes relevantes para variáveis dummy nas equações de média e volatilidade. Essas quebras estruturais demonstram impacto significativo no comportamento da volatilidade, reduzindo a persistência quando incorporadas ao modelo.

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. Modelos de heterocedasticidade condicional

Os modelos da família ARCH (*Auto-Regressive Conditional Heteroskedasticity*) foram introduzidos por Engle (1982) e partem do princípio central de que os retornos de uma série de tempo são livres correlação serial, contudo, sua volatilidade - determinada pela variância condicional - é influenciada por retornos passados, de forma dependente de uma relação quadrática (Morettin e Tolo, 2004). Dentre os modelos existentes, existem também os modelos que captam assimetria, dentre os quais estão os modelos TARARCH e EGARCH.

O modelo ARCH assume que a variância condicional no tempo t depende dos quadrados dos erros passados. O modelo ARCH (q) é definido por:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2$$

O modelo GARCH proposto por Bollerslev (1986), permite uma estrutura mais flexível e geralmente é mais parcimonioso que o ARCH. Este modelo, denominado *auto-regressivo de*

heterocedasticidade condicional generalizada (GARCH) considera a variância condicional como função de erros (do modelo da média) passados ao quadrado e de valores defasados da variância condicional. O modelo GARCH (p, q) é dado por:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

Em que ε_t é o erro da equação da média, u_t é um termo de erro aleatório e σ_t^2 é a variância condicional especificada como função de: a) termo constante α_0 ; b) informação sobre a volatilidade de períodos anteriores medida pelos resíduos da equação da média defasados ao quadrado, ε_{t-i}^2 , que são os termos ARCH, e c) variância condicional defasada, σ_{t-j}^2 , que são os termos GARCH.

Os modelos TARCH (*Threshold ARCH*) e EGARCH (*exponential GARCH*) são extensões do modelo GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*) que incorporam efeitos assimétricos na modelagem da volatilidade. Proposto por Zakoian (1994), o TARCH permite capturar a heterocedasticidade condicional em séries temporais financeiras, considerando que choques positivos e negativos podem ter impactos diferentes na volatilidade futura.

O modelo introduz um termo adicional (η_k) que discrimina o impacto dos choques negativos (ou positivos) por meio de uma função indicadora, representando assimetrias associadas a mudanças no mercado, como reações mais intensas a choques negativos. A especificação do TARCH é comumente utilizada para analisar séries financeiras que apresentam o efeito "*leverage*" ou alavancagem¹, em que retornos negativos aumentam mais a volatilidade do que retornos positivos de mesma magnitude. O modelo TARCH (p, q)² é definido por:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^q \gamma_i \varepsilon_{t-i}^2 d_{t-i} + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (1)$$

Em que: α_0 é uma constante; $\alpha_i \varepsilon_{t-i}^2$ representa o impacto de choques passados; $\gamma_i \varepsilon_{t-i}^2$ é um termo de assimetria que avalia choques negativos para captar alavancagem; $d_{t-i} = 1$, se $\varepsilon_{t-i} < 0$ e $d_{t-i} = 0$, se $\varepsilon_{t-i} > 0$ ou $\varepsilon_{t-i} = 0$; e $\beta_j \sigma_{t-j}^2$ representa a persistência da variância condicional passada.

Já o modelo EGARCH emprega uma forma logarítmica para modelar a variância condicional, garantindo que a variância sempre seja positiva, sem precisar impor restrições aos parâmetros. A variância do modelo EGARCH (p, q) é expressa por:

$$\ln(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \ln(\sigma_{t-i}^2) + \sum_{j=1}^q \alpha_j \left| \frac{\varepsilon_{t-j}}{\sigma_{t-j}} \right| + \sum_{k=1}^r \alpha_k \frac{\varepsilon_{t-k}}{\sigma_{t-k}}$$

¹ O efeito *leverage* (ou alavancagem) é um fenômeno em que a volatilidade de um ativo financeiro tende a reagir de forma mais intensa a retornos negativos do que a retornos positivos de mesma magnitude (Tsay, 2010).

² Em que "p" representa o número de termos autorregressivos da variância condicional e "q" representa o número de termos de média móvel da variância condicional (Tsay, 2010).

3.2. Retornos financeiros

O retorno financeiro de uma ação pode ser definido como os ganhos ou perdas obtidas a partir de um investimento em um ativo do mercado acionário durante um período específico. Esse retorno é composto pela valorização ou desvalorização do preço da ação ao longo do tempo, somado aos dividendos distribuídos pela empresa aos seus acionistas (Neto, 2020). O cálculo dos retornos (r_t) de uma ação é dado por:

$$r_t = \ln \frac{p_t}{p_{t-1}} = \ln(1 + R_t) = p_t - p_{t-1}$$

Em que (r_t) representa os retornos de uma ação no tempo t ; e p_t representa o logaritmo natural do preço (P_t) da ação no tempo t .

3.3. Quebras estruturais

Quebras estruturais são mudanças importantes no comportamento de uma série temporal, geralmente causadas por eventos externos. Essas mudanças podem estar relacionadas a crises econômicas, mudanças em políticas ou eventos inesperados, como pandemias. A necessidade de identificar e lidar com tais quebras é importante, pois elas podem alterar os padrões dos dados e prejudicar análises e previsões (Perron, 1989). Para tal, métodos como os testes de Chow, Bai-Perron e outros são usados para detectar essas mudanças e ajustar os modelos, tornando as análises mais confiáveis e precisas.

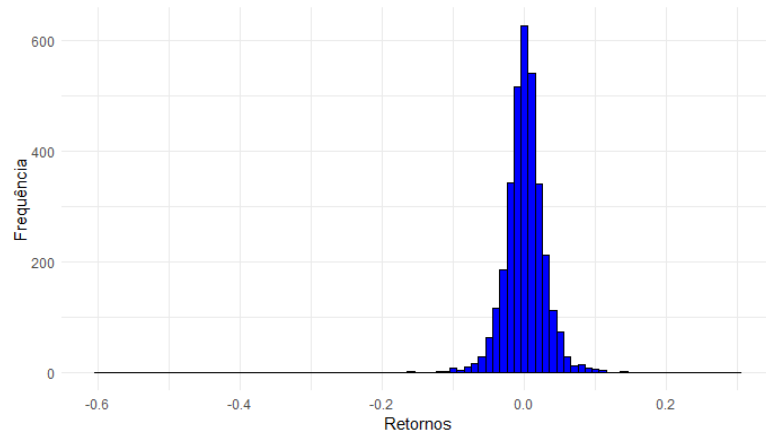
3.4. Variáveis e fonte de dados

Os dados utilizados neste estudo são referentes às ações preferenciais da Petrobras, PETR4 PN, que são negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo, e foram retirados da base de dados da Investing.com. É importante ressaltar que apesar de também serem negociadas ações ordinárias (ON), o presente estudo empregará as ações preferenciais devido ao seu histórico de maior volume de negociações, o que se deve ao fato de que essas oferecem preferência na distribuição de dividendos.

O período utilizado para a análise se estende de 04 de janeiro de 2010 a 16 maio de 2020, empregando as cotações diárias de fechamento, totalizando 2474 observações. Para tanto, a escolha desta delimitação temporal se deve a uma tentativa de excluir os possíveis efeitos gerados pela crise econômica de 2008, delimitado pela data final de vigência da PPI no Brasil.

A seguir, pode-se observar no Gráfico 1, os retornos da ação no período de interesse.

Gráfico 1: Histograma dos retornos da ação PETR4



Conforme ilustrado, a análise exploratória dos retornos diários da ação PETR4 revelou características típicas de séries financeiras, com distribuição assimétrica e leptocúrtica, indicando concentração de observações próximas à média e caudas longas. O histograma dos retornos evidenciou alta frequência de pequenas variações e ocorrência ocasional de choques de grande magnitude. A seguir, são apresentadas as funções de autocorrelação (FAC), no Gráfico 2, e autocorrelação parcial (FACP), Gráfico 3, cuja análise auxilia o processo de definição da ordem dos modelos ARMA (p, q).

Gráfico 2: FAC dos retornos da ação PETR4

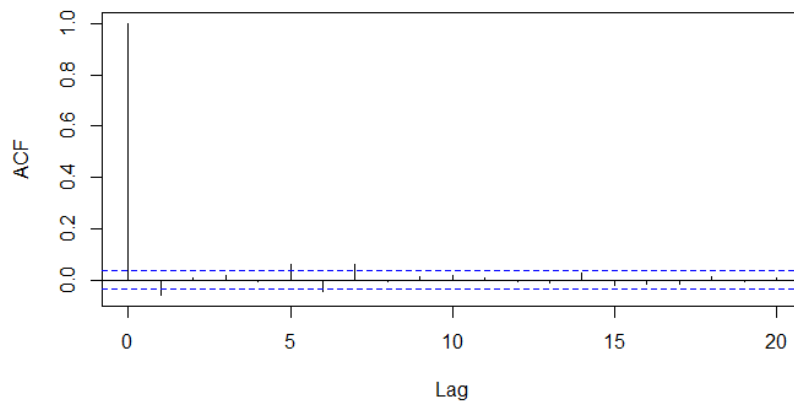
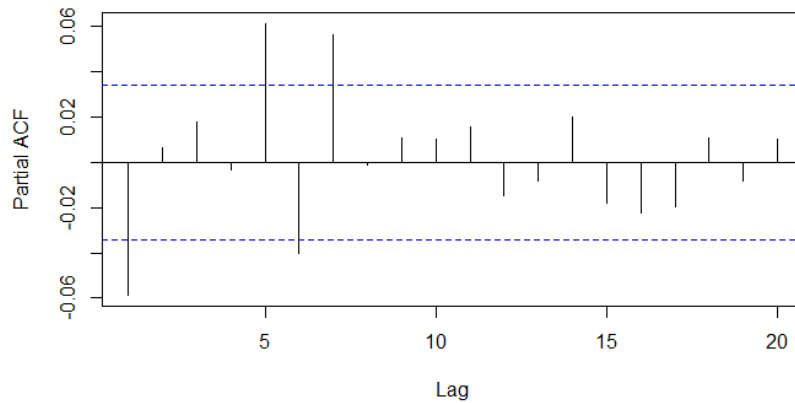


Gráfico 3: FACP dos retornos da ação PETR4



Por sua vez, FAC e FACP confirmaram a presença de dependência serial e heterocedasticidade condicional, sugerindo a necessidade de modelagem autorregressiva e de volatilidade condicional (Morettin e Tolo, 2004). Com base nas figuras apresentadas, e afim de alinhar-se ao princípio da parcimônia, notou-se que um modelo de ordem 3 seria suficiente para eliminar as autocorrelações entre os resíduos da série, conforme pode ser observado nos gráficos 4 e 5.

Gráfico 4: FAC dos resíduos do modelo ARIMA (3, 3)

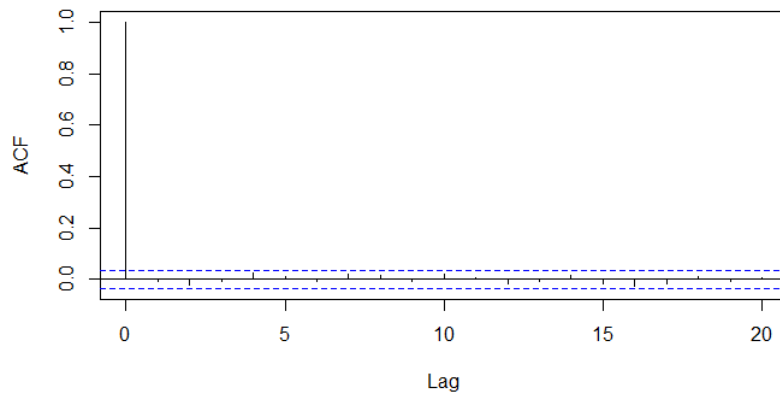
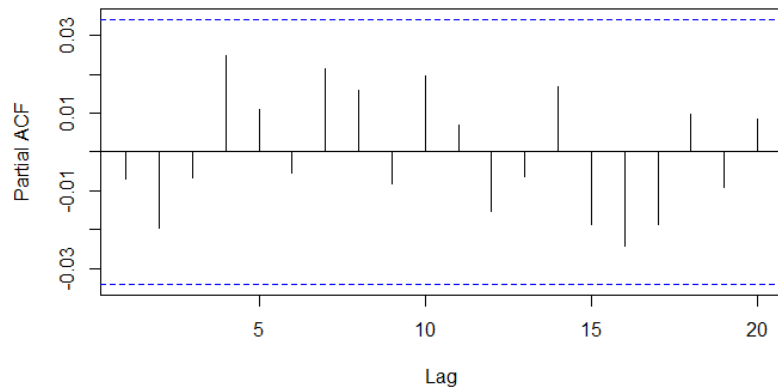


Gráfico 5: FACP dos resíduos do modelo ARMA (3, 3)



Contudo, apesar de os retornos não apresentarem autocorrelação serial após a modelagem, os retornos ao quadrado continuaram autocorrelacionados e iniciando a presença de *clusters* de volatilidade, conforme apresentado nos gráficos 7 e 8, evidenciando a necessidade do emprego de modelos de heterocedasticidade condicional.

Gráfico 6: Resíduos ao quadrado do modelo ARMA (3, 3)

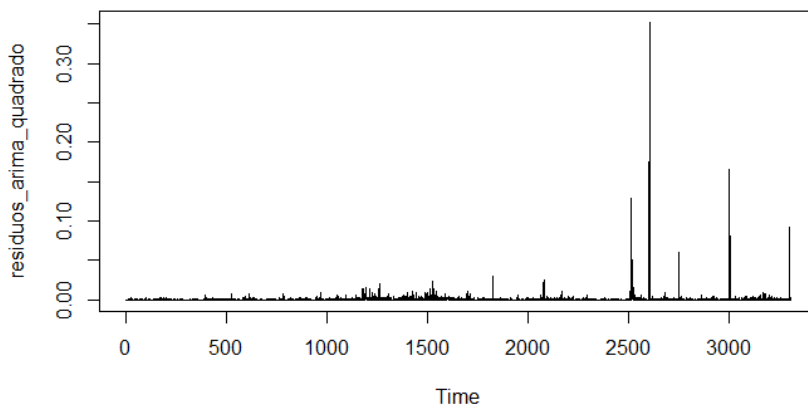


Gráfico 7: FAC dos resíduos ao quadrado do modelo ARMA (3, 3)



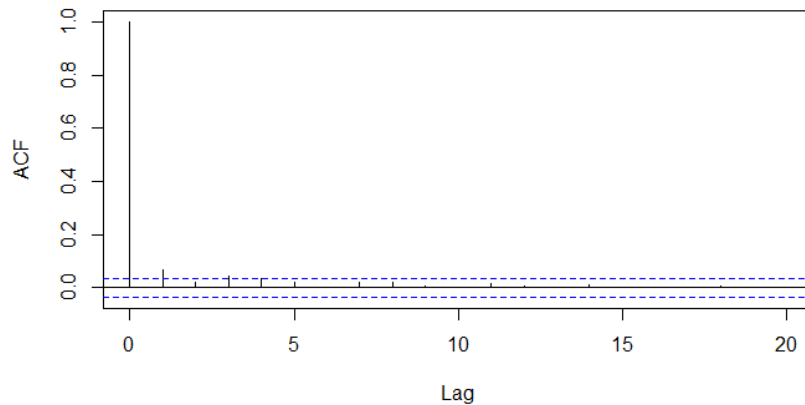
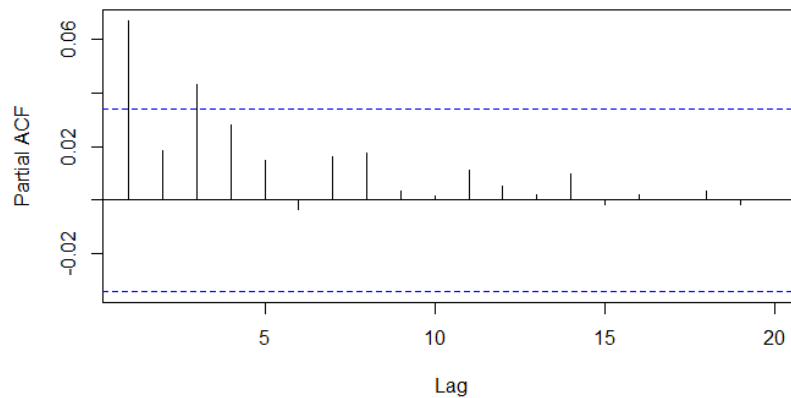


Gráfico 9: FACP dos resíduos ao quadrado do modelo ARMA (3, 3)

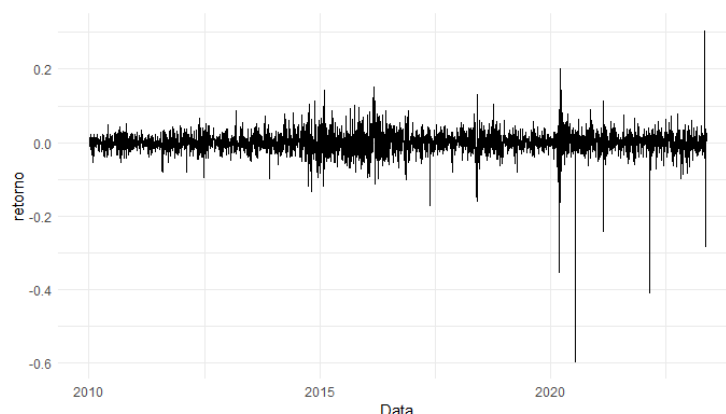


A seguir, foram estimados os modelos ARCH, GARCH, EGARCH e TARCH, todos reconhecidos como capazes de corrigir a heterocedasticidade condicional do quadrado dos resíduos, tornando a série adequada para a modelagem e interpretação. Em seguida, optou-se pelo modelo que melhor se adequou aos critérios de informação. Por fim, foi aplicado o teste de quebra estrutural de Bai e Perron (2003), para o período mencionado.

4. RESULTADOS

O retorno das ações PETR4 para o período analisado é apresentado a seguir, no Gráfico 1:

Gráfico 10: Retornos das ações PETR4.



Com base no Gráfico 1, pode-se perceber o comportamento da volatilidade em clusters, o que significa que períodos de alta volatilidade são geralmente seguidos por outros períodos de alta volatilidade, enquanto períodos de baixa volatilidade tendem a ser seguidos por estabilidade. Diante disso, a existência de tais clusters sugere a necessidade de modelagem da variância utilizando um modelo de heterocedasticidade condicional. Ademais, para confirmar a existência de heterocedasticidade condicional, realizou-se o teste ARCH-LM Engle. Os resultados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Teste de Efeito ARCH

Defasagem	Qui-quadrado	P-valor
1	14,874	0,000
2	19,803	0,000
3	22,119	0,000
4	24,702	0,000
5	25,403	0,000

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, o teste ARCH LM de Engle rejeita fortemente a hipótese nula de homocedasticidade, ao nível de significância de 1%. Tal resultado confirma a presença de efeitos ARCH, demonstrando que a variância dos resíduos não é constante ao longo do tempo (*volatility clustering*), o que justifica a subsequente especificação de um modelo da família GARCH para modelar essa dinâmica da volatilidade.

A inspeção gráfica dos resíduos ao quadrado e das funções de autocorrelação dos resíduos do modelo ARMA(3,3) revelou agrupamentos visuais de volatilidade (“*volatility clustering*”), reforçando a evidência de heterocedasticidade condicional. Esse comportamento justifica o uso de modelos da família GARCH para capturar a dinâmica temporal da variância condicional dos retornos da PETR4 (Tsay, 2010).

Sendo assim, para a estimação dos modelos, considerou-se a especificação ARMA (3, 3) (cujas análises dos resíduos podem ser conferidas no apêndice). Os resultados obtidos são apresentados abaixo na Tabela 2:



Tabela 2: Resultados econométricos

	TARCH (1,1)	EGARCH (1,1) ¹	GARCH (1,1)	ARCH (1)
AR (1)	0,206***	-0,430***	-0,511 ^{NS}	2,671***
AR (2)	0,891***	0,745***	0,773***	-2,650***
AR (3)	-0,255***	0,507***	0,556*	0,971***
MA (1)	-0,249***	0,391***	0,479 ^{NS}	-2,674***
MA (2)	-0,879***	-0,743***	-0,772***	2,655***
MA (3)	0,299***	-0,462***	-0,515 ^{NS}	-0,972***
ω	0,001***	-0,156***	0,000***	0,001***
α_1	0,090***	-0,012 ^{NS}	0,119***	0,284***
β_1	0,911***	0,978***	0,848***	0,282***
η_k	0,276***	4,649***	4,692***	3,862***
γ_1	-	0,134***	-	-
Akaike	-4,520	-4,509	-4,501	-4,441
Schwartz	-4,500	-4,488	-4,482	-4,424

Fonte: Elaboração própria.

*** Significativo a 1%; ** significativo a 5%; * significativo a 10%; NS = não significativo.

¹ Formulação em logaritmo.

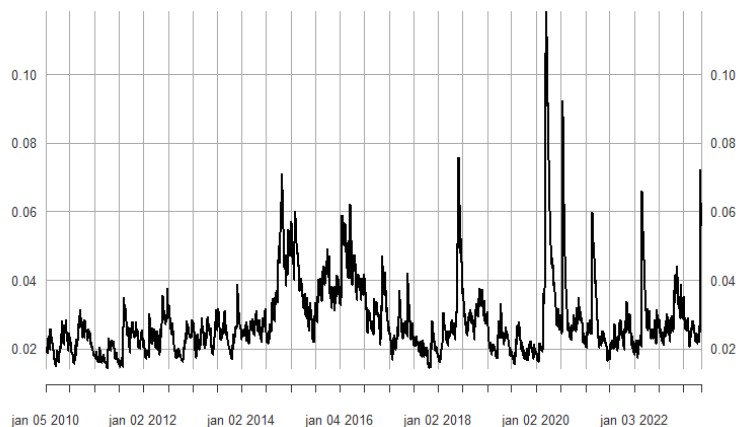
Com base nos resultados apresentados na Tabela 2, o modelo TARCH (1, 1) foi o que melhor se adequou à análise, apresentando o maior valor para função de máxima verossimilhança e minimizando os critérios de informação de Akaike e Schwarz.

Diante disso, a partir dos resultados obtidos para o modelo de interesse (TARCH (1,1)), verifica-se que todos os coeficientes foram significativos ao nível de 1% de significância, o que indica que os termos autorregressivos, de médias móveis e os parâmetros da volatilidade condicional têm impacto relevante na dinâmica da série. Vale destacar que, a significância dos termos autorregressivos indica que valores passados da série são capazes de influenciar seu valor atual, enquanto as médias móveis indicam que os termos de erros passados impactam o valor da série atual.

No que se refere aos parâmetros de volatilidade condicional, tem-se que o coeficiente ω , que é o termo constante na variância condicional, é positivo e significativo, indicando uma base para a variância condicional, mesmo na ausência de choques ou dependência autorregressiva. O coeficiente α_1 representa o impacto dos choques passados na variância condicional, indicando que choques passados têm efeito positivo, mas moderado, na volatilidade atual.

Já o parâmetro β_1 representa a persistência da volatilidade ao longo do tempo, de modo que seu valor elevado (0,9115) e significativo indicam que a volatilidade é altamente persistente, ou seja, choques na variância condicional demoram a desaparecer. Em relação ao parâmetro η_{11} , que captura o efeito assimétrico dos choques negativos na variância condicional, seu valor positivo (0,2759) e significativo sugere que choques negativos têm maior impacto na volatilidade, o que é consistente com o comportamento assimétrico esperado em séries financeiras. O Gráfico 11, apresentado abaixo, mostra a volatilidade estimada pelo modelo TARCH (1, 1):

Gráfico 11: Volatilidade estimada pelo modelo TARCH (1, 1) para a ação PETR4.



Através do gráfico, é possível identificar picos significativos em determinados períodos, que podem estar associados a diversas ocorrências, como eventos macroeconômicos, crises financeiras, mudanças nas políticas públicas, oscilações nos preços do petróleo ou eventos específicos da empresa Petrobras.

Gráfico 12: FAC dos resíduos do modelo TARCH ao quadrado



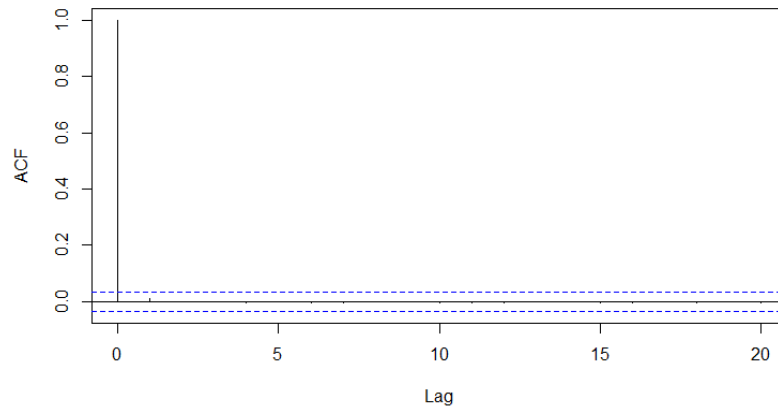
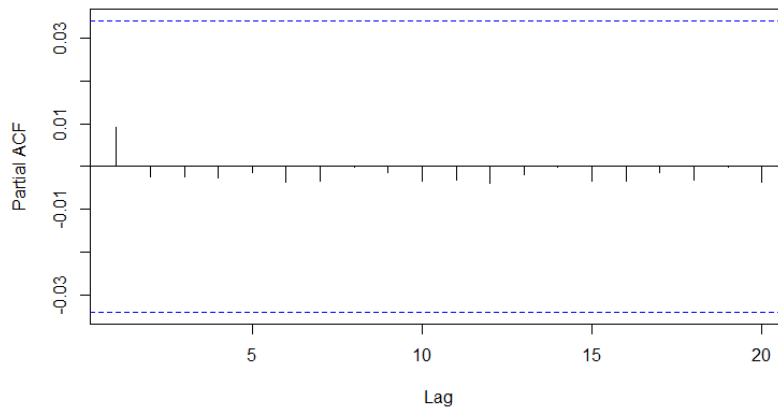


Gráfico 13: FACP dos resíduos do modelo TARCH ao quadrado



Por fim, para analisar se a vigência da PPI afetou de forma significativa os retornos da ação PETR4, estimou-se o teste de Bai e Perron (2003) para o período de interesse. O resultado é apresentado na Tabela 1:

Tabela 3: Resultados do teste de Bai e Perron.

Número da quebra	Período	BIC
1	03/04/2012	20.038
2	24/10/2014	18.793
3	23/01/2018	17.503
4	06/03/2018	16.866

Nota-se, que o teste de quebra estrutural apresentou quatro períodos de mudança estrutural nos retornos das ações PETR4, para o período analisado, sendo eles: 03/04/2012, 24/10/2014, 23/01/2018 e 06/03/2020. Dentre esses, os dois últimos pertencem ao período de vigência da PPI, no entanto, nenhum coincide com a data de início da política. Diante disso, não foram encontradas evidências suficientes para afirmar que a vigência do alinhamento internacional de preços do petróleo foi capaz de afetar os retornos das ações PETR4.

5. CONCLUSÃO

Este estudo analisou a relação entre a paridade internacional de preços do petróleo e os retornos das ações preferenciais da Petrobras (PETR4), considerando os impactos da política de Preços por Paridade de Importação (PPI) no Brasil. A aplicação do modelo TARARCH (1,1) permitiu capturar os efeitos assimétricos na volatilidade, destacando que choques negativos exercem maior impacto na variância condicional do que choques positivos de mesma magnitude. Além disso, o teste de Bai e Perron (2003) revelou a presença de quatro quebras estruturais nos retornos das ações, das quais duas ocorreram durante a vigência da PPI, embora não coincidam com a data de início dessa política.

Os resultados indicam que, embora as mudanças estruturais sejam evidentes no comportamento dos retornos, ao contrário do que é sugerido por parte da literatura, não há evidências suficientes para afirmar que a implementação da PPI influenciou diretamente a volatilidade das ações PETR4. Isso sugere que outros fatores, como oscilações cambiais e eventos econômicos globais, podem ter desempenhado um papel mais relevante durante o período analisado.

Por fim, o estudo contribui para a literatura ao integrar a modelagem de heterocedasticidade condicional e a análise de quebras estruturais na avaliação de políticas de preços. Pesquisas futuras podem explorar a interação entre a paridade internacional de preços do petróleo e seus efeitos sobre a população, ampliando a compreensão sobre os determinantes da volatilidade no mercado financeiro brasileiro.



REFERÊNCIAS

- ABDENNADHER, E.; HALLARA, S. Rupturas estruturais e volatilidade do mercado de ações em países emergentes. *Revista de Economia Financeira*, v. 8, n. 3, p. 215-232, 2021.
- AURORI, M. H.; FOUQUAU, J. *On the short-term influence of oil price changes on stock markets in GCC countries: linear and nonlinear analyses. Economics Bulletin*, v. 29, n. 2, p.806-815, 2009.
- AURORI, M. H; JAWADI, F. Short and long-term links between oil prices and stock markets in Europe, *Economics Bulletin*, v. 30, n. 1, p. 817-828, 2010.
- BAI, J.; PERRON, P. Computation and analysis of multiple structural change models. *Journal of Applied Econometrics*, v. 18, n. 1, p. 1-22, 2003. DOI: 10.1002/jae.659.
- BM&F BOVESPA (Brasil). B3: Estatísticas. Brasil, 2019. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/produtos-e-servicos/negociacao/renda-variavel/mercado-de-acoes/estatisticas.htm. Acesso em: 27 dez. 2024.
- BOYER, M. M.; FILION, D. *Common and fundamental factors in stock returns of Canadian oil and gas companies. Energy Economics*, [s. l.], v. 29, p. 428-453, 2007.
- DELGADO, F.; GAUTO, M. Composição dos preços de paridade dos combustíveis no Brasil. *Conjuntura Econômica*, [s. l.], v. 75, ed. 6, p. 44-48, 2021. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/rce/article/view/84703>. Acesso em: 26 dez. 2024.
- ENGLE, R. F. *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. Econometrica*, v. 50, n. 4, p. 987-1007, 1982.
- FASANYA, I. O. *et al. Oil price and stock market behaviour in GCC countries: Do asymmetries and structural breaks matter? Energy Strategy Reviews*, [s. l.], 2021.
- GOGINENI, S. *Oil and the stock market: An industry level analysis. Working paper, University of Oklahoma*, 2009.
- GOULART, C. P. *et al. Previsão da volatilidade no mercado interbancário de câmbio. Revista de Administração de Empresas*, [s. l.], v. 45, 2005.
- GUPTA, K. *Oil price shocks, competition, and oil & gas stock returns: Global evidence. Energy Economics*, [s. l.], v. 57, 2016.
- INVESTING.COM. Histórico de cotações das ações preferenciais da Petrobras (PETR4). Disponível em: <https://br.investing.com/equities/petrobras-pn-historical-data>. Acesso em: 26 dez. 2024.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa Brasileira de Administração de Petróleo e Gás Natural S.A. O Pré-Sal. Brasil, 2025. Disponível em: <https://www.presalpetroleo.gov.br/contratos-de-partilha-e-producao/o-pre-sal/>. Acesso em: 8 jan. 2025.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Rio de Janeiro). Empresa de Pesquisa Energética. Relevância do setor de petróleo e gás natural para a transição energética. EPE, [s. l.], 2024.



MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. de C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001389286> Acesso em: 21 jan. 2025.

NETO, A. A.; **Finanças Corporativas e Valor**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2020.

PERRON, P. *The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis*. *Econometrica*, v. 57, n. 6, p. 1361-1401, 1989.

PETROBRAS. Serviços ao investidor. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.investidorpetrobras.com.br/servicos-ao-investidor/investidor-individual/perguntas-frequentes/>. Acesso em: 9 jan. 2025.

SANT'ANA, J.; RODRIGUES, M. Petrobras anuncia fim da paridade de importação do petróleo e nova política de preço para combustíveis. *In: Economia*. [S. l.]: G1, 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2023/05/16/petrobras-anuncia-fim-da-paridade-internacional-do-petroleo-e-nova-politica-de-preco-para-combustiveis.ghtml>. Acesso em: 26 dez. 2024.

SILVA, B. F. D. da. Relações entre o preço internacional do petróleo e as ações da Petrobras. Universidade de Brasília, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal do Rio Grande do Norte, [s. l.], 2011.

SILVA, G. P. R. C. Petróleo: seus impactos na sociedade e a regulação no território brasileiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

TORRE, L. R. D. *et al.* A relação entre a paridade de preços com o mercado internacional e a política de preços da Petrobras e suas implicações para a sociedade brasileira. *Revista Científica Multidisciplinar*, [s. l.], v. 4, ed. 8, 2023. DOI <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i8.3744>. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/issue/view/cap8>. Acesso em: 26 dez. 2024.

TSAY, R. S. *Analysis of financial time series*. 3. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2010.

ZAKOIAN, J. M. *Threshold Heteroskedastic Models*. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 18, n. 5, p. 931–955, 1994.