

ANÁLISE DA VOLATILIDADE DO PREÇO DO PETRÓLEO EM UM CONTEXTO DE CRISE

ANALYSIS OF OIL PRICE VOLATILITY IN CRISIS CONTEXT

Rodolfo Ferreira Ribeiro Costa¹
Sinézio Fernandes Maia²

RESUMO:

O objetivo deste trabalho é analisar a volatilidade do preço do barril de petróleo do tipo WTI e do tipo BRENT, estimando a reação provocada por choques, à persistência dos mesmos e verificando a presença de assimetria nas informações num contexto de crise. Para tal propósito, utilizar-se-á variantes do modelo ARCH. Os dados utilizados referem-se ao retorno sobre o logaritmo do preço do barril de petróleo, tanto do tipo BRENT como do tipo WTI, e correspondem ao período de primeiro de janeiro até doze de novembro de 2008, totalizando 220 observações. Estes foram coletados no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). As séries dos retornos dos preços do barril de petróleo do tipo BRENT e WTI apresentaram persistência moderada e evidências de assimetria nas informações. No que diz respeito ao efeito alavancagem, verificou-se que na série do retorno do preço do petróleo do tipo WTI apresenta-se evidência do mesmo, enquanto que na série do retorno do preço do petróleo do tipo BRENT não apresentou indícios da presença do efeito alavancagem.

Palavras-Chave: Volatilidade, Modelos ARCH e Efeito Alavancagem.

ABSTRACT:

The purpose of this study is to analyze the volatility of the price of oil of the type and the type WTI BRENT, estimating the reaction caused by shocks, the persistence of them and verifying the presence of asymmetry of information in crisis context. For this purpose, shall be used variants of the ARCH. The data used refer to the return on the logarithm of the price of oil, both type BRENT as the type WTI, and correspond to the period of the first of January to twelve November 2008, totaling 220 points. These were collected at the Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). The series returns of prices of oil and the type BRENT WTI presented moderate of persistence and asymmetry of information evidence. About the leverage effect, it was found that the number of returning the price of WTI oil-type presents itself evidence of that, while the number of returning the price of oil of the type BRENT showed no evidence of the presence of the effect leverage.

Keywords: Volatility, ARCH Models and Effect Leverage.

1 INTRODUÇÃO

O petróleo é a principal fonte de energia que movimenta o mundo. De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), os derivados do petróleo correspondem a 39% da energia mundial utilizada. No Brasil, este percentual é um pouco mais baixo, um total de 36,7% da fonte de energia brasileira é proveniente do petróleo, valor este que chega a ser superior a soma da segunda e da terceira fonte de energia mais utilizadas pelo país, quais sejam, álcool e eletricidade, que correspondem a 15,7% e 14,7%, respectivamente.

Atualmente, a matriz de energética do mundo é formada pelo uso de 39% do petróleo, 25,3% do carvão mineral, 20,7% do gás natural, 10% da biomassa, 6,3% da energia nuclear, 2,2 da energia elétrica, 0,5% de outras fontes renováveis (segundo dados da AIE).

A importância de tal produto para o desempenho da economia brasileira e mundial é bastante significativa como mostra os dados da Agência Internacional de Energia. Este

¹ Graduado em economia pela UERN, Mestre em economia pela UFPB e Doutor em economia pelo CAEN/UFC. Professor Adjunto da UERN - rodolfofrc@yahoo.com.br.

² Graduado em Economia pela UEM, Mestre em economia pela UFV, doutor em economia pelo PIMES/UFPE e Pós-Doutor pela UFRGS. Professor Adjunto da UFPB - sinezio@ccsa.ufpb.br.

destaque do petróleo frente às demais fontes de energia proporciona certa preocupação sobre as oscilações no preço mundial do barril de petróleo, visto que a dependência energética do petróleo e seus derivados pode provocar transtornos altamente significativos, como ficou caracterizado pelas crises econômicas enfrentadas pelos choques do petróleo nas décadas de setenta e oitenta, afetando tanto países exportadores como importadores, causando impactos macroeconômicos como recessão e inflação.

Outra questão de destaque no mercado petrolífero diz respeito a sua influência no mercado financeiro. Com a proposta de um mercado *spot* e um outro futuro, onde são negociados os barris do tipo Brent e WTI, esta *commoditie* passa, a partir de 1983, a influenciar diretamente a performance das principais bolsas mundiais, por proporcionar alterações significativas no volume e no preço negociado. Entre 2005 e 2007, o mercado futuro cresceu 68%, passando a representar um volume de negociações cinco vezes maior do que a produção física. Esta tendência, conforme Summers e Shleifer (1990) e Bradford et al (1990), indica a capacidade de a especulação financeira criar um ambiente instável e, portanto, desestabilizador para economia.

A dependência do petróleo, bem como seus efeitos macroeconômicos, justifica a importância do tratamento da volatilidade do preço do mesmo para a formação de política econômica, além do gerenciamento dos riscos dos investidores deste setor. Desta forma, o objetivo deste trabalho é analisar a volatilidade do preço do barril de petróleo do tipo WTI e do tipo BRENT num contexto de crise, estimando a reação provocada por choques, à persistência dos mesmos e verificando a presença de assimetria nas informações. Para tal propósito, utilizar-se-á variantes do modelo ARCH: GARCH, EGARCH, TARARCH e GJR-GARCH.

As negociações do petróleo são realizadas em dois grandes mercados, o NYMEX (New York Mercantile Exchange), onde é negociado o petróleo do tipo leve WTI (West Texas Intermediate), e o IPE (International Petroleum Exchange), em Londres, onde é negociado o petróleo do tipo Brent. As cotações destes dois petróleos diferem, em média, aproximadamente entre 2 ou 3 dólares por barril em favor do WTI. Esta diferença está relacionada ao valor dos produtos originados do processamento destes petróleos.

A literatura destaca alguns trabalhos sobre a volatilidade do preço do petróleo. Segundo Swary (2002) a volatilidade de uma *commoditie* é ocasionada por reações de oferta ou de demanda. *Commodities* primárias tem a volatilidade dos seus preços aguçada por movimentos de oferta, enquanto que, *commodities* utilizadas como matéria-prima nas indústrias (como é o caso do petróleo) tem a volatilidade de seus preços afetada por fenômenos de demanda.

Pinto Jr, Iootty e Fernandes (2006) destacam a importância dos movimentos da oferta e demanda para formação do preço do petróleo. Os autores remetem as oscilações do preço do petróleo internacional a fenômenos geopolíticos e as condições de oferta determinadas pela OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo). Barsky e Kilian (2004) destacam a importância de fundos *hedge* sobre a volatilidade do preço do petróleo. Horan, Peterson e Mahar (2004) analisam a volatilidade dos mercados futuros a partir da volatilidade implícita extraída dos contratos de opções em períodos que cercam as reuniões da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo). Seus resultados mostraram que a volatilidade implícita se eleva em dias que precedem as reuniões e decresce assim que ocorrem os anúncios das deliberações, sendo responsável por significantes impactos no preço do petróleo.

Independentemente das forças que promovem a oscilação no nível de preço do petróleo, a verificação da reação e da persistência de uma mudança sobre o preço do petróleo é de veras significativo para estratégia de ação de investidores e de países extremamente dependentes de tal produto. Estudos que procuram evidenciar como o preço de um produto reagi a uma determinada mudança de cenário e como as diversas informações que são criadas

podem afetar o movimento dos preços proporcionam uma ferramenta de grande importância para os formuladores de política e para investidores do mercado financeiro.

Além desta seção introdutória, o artigo apresenta mais cinco seções. A segunda aborda os efeitos das flutuações no preço do barril de petróleo para diferentes cenários econômicos e uma breve revisão da literatura sobre a volatilidade do preço do petróleo. A terceira apresenta a formalização dos modelos GARCH, EGARCH, TARCH e GJR-GARCH; a terceira, descreve o método de estimação dos modelos, bem como o tratamento as variáveis. A quarta destaca os resultados e discussões; por fim, a última, relata as conclusões obtidas.

2 O EFEITOS DA VOLATILIDADE DO PREÇO DO PETRÓLEO

Por se tratar da principal fonte de energia utilizada no mundo, o petróleo merece destaque nos diferentes cenários econômicos. Seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento, em países industrializados, blocos comerciais e até mesmo em pequenas economias, os efeitos desta *commoditie* devem ser considerados, principalmente, aqueles efeitos provenientes da volatilidade em seu nível de preço.

A nível global, a questão referente as oscilações do petróleo apresentam uma variedade de canais que se propagam por diferentes elementos de uma economia, tais como demanda, custos, inflação, comércio, mercado financeiro, oferta etc.

A nível internacional, o comércio do petróleo implica em retornos expressivos aos seus produtores, principalmente, quando a tendência dos preços se mostra crescente. Como característica, países exportadores de energia apresentam uma proporção marginal a consumir inferior a dos seus parceiros comerciais e, portanto, tendem a expandir a demanda apenas gradualmente (Musa, 2000). Desta forma, a volatilidade do preço do petróleo, associada as características dos agentes envolvidos nas relações de comércio, acaba por afetar a características de consumo e, conseqüentemente, da demanda global. Por se tratar de um insumo, o petróleo é responsável direto por flutuação nos custos de produção e, também, na produção. O impacto de um aumento do preço relativo deste insumo apresenta uma maior intensidade em países em desenvolvimento, dado que seu grau de utilização é bem superior àquele visto em economias mais desenvolvidas. Ainda, cabe destacar que mudanças no preço do petróleo impactam no nível de preços e, conseqüentemente, na inflação, cuja magnitude dependerá do grau de aperto monetário e da medida em que os consumidores procuram compensar o declínio nos seus rendimentos reais através de aumentos salariais mais elevados e os produtores procuram restaurar as margens de lucro. Por fim, pode haver impacto direto e indireto nos mercados financeiros, dado que mudanças reais e antecipadas da atividade econômica, do lucro das empresas, da inflação e da política monetária, após o aumento dos preços do petróleo, podem afetar as avaliações de títulos e as taxas de câmbio.

Em economias industrializados os efeitos da volatilidade do preço do petróleo apresentam resultados semelhantes, embora suas respectivas magnitudes possam variar de acordo com o resultado líquido do comércio. Por exemplo, uma elevação no preço do petróleo reduzem a atividade econômica e a demanda de países como os Estados Unidos e daqueles pertencentes a região do Euro numa magnitude superior a economias como o Canadá e do Reino Unido, que são exportadores líquido de petróleo. Além disso, destacam-se alguns fenômenos de curto prazo provenientes das flutuações no petróleo, entre eles a inflação, a neutralidade quanto ao mercado financeiro e ao câmbio. Tais condições refletem, provavelmente, uma natureza temporária do choque do preço do petróleo.

O impacto sobre as economias em desenvolvimento, por um lado, quando se considera os países tipicamente exportadores, tais como Equador, Indonésia e Venezuela, sofrem com um declínio dos preços; por outro, nos países importadores, ocorre um impacto positivo, especialmente, devida a grande dependência desta fonte de energia. Neste sentido, as economias em desenvolvimento teriam relações distintas com relações as flutuações no preço

do petróleo. Por exemplo, um aumento no preço do barril traria ganhos em conta corrente a países como os Emirados Árabes Unidos, que apresentam vantagens comparativas na produção do petróleo, enquanto o Mali executaria um déficit. Outra questão relevante, é que tais economias também apresentam graus distintos de dependência em relação ao petróleo e um sistema financeiro mais simples e com baixa integração global, combinando para um efeito ainda mais heterogêneo. Por fim, em termos relativos as economias desenvolvidas e industrializadas, os impactos esperados sobre os fundamentos macroeconômicos se apresentam de forma mais intensa.

As relações de comércio também são fatores decisivos ao se relatar os resultados dos efeitos do preço do barril de petróleo sobre as economias emergentes. O tamanho relativo do saldo corrente entre importação e exportação se mostra como elemento chave para definição da magnitude dos efeitos. A América Latina, a Europa emergente e a África são menos prejudicadas pelo choque do petróleo devido à maior influência dos exportadores líquidos de petróleo na atividade agregada, enquanto que a Ásia experimenta o maior impacto negativo. Existe uma variação ainda maior intra e entre as regiões quanto ao impacto do aumento do preço do petróleo na inflação, dependendo do mecanismo de transmissão aos preços domésticos e se os países permitem que haja transmissão aos preços de energia administrados.

Seja por ser a fonte de energia mais utilizada em todo mundo, por afetar diretamente a economia real ou por ser uma das principais *commodities* vendidas no mercado *spot* e futuro, o petróleo é um elemento chave na formação de carteiras, na formação dos índices de mercado das principais bolsas do mundo, na formulação de política macroeconômica etc. De fato, a força econômica proveniente de tal fonte de energia torna-o um dos componentes principais nas decisões tanto da economia real quanto da economia financeira.

Devida a tal importância, a análise do mercado do petróleo apresenta grande relevância na literatura, sendo explorado, principalmente, o comportamento de seus preços no mercado *spot* e futuro. Victor e Pirrong (1996), numa análise para ambos os mercados do petróleo, com o uso dos modelos da família ARCH, identificaram a presença do efeito assimétrico, bem como uma elevada persistência aos choques na volatilidade condicional, principalmente, para o mercado à vista.

Horan, Peterson e Mahar (2004) analisam a volatilidade do preço do petróleo do tipo WTI a partir dos contratos de opções. Segundo os autores, a volatilidade nos preços do petróleo é afetada pelas reuniões da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo). Este resultado indica que as oscilações se mostram assimétricas as deliberações da OPEP. No mercado à vista, Pyndick (2003), através do uso do modelo GARCH (1,1), observa que a volatilidade do preço do petróleo do tipo Brent tem pouca persistência, sendo, portanto, fonte de influência nas decisões de curto prazo.

Aiube e Tara (2006) analisaram a volatilidade nos preços *spot* do petróleo WTI usando modelos GARCH (1,1) e TARARCH (1,1) e encontraram um melhor desempenho do modelo TARARCH em captar o efeito de choques negativos, ou seja, da assimetria na volatilidade condicional como resultados de notícias ruins. Ainda, destacam que a volatilidade apresenta um comportamento transitório e, portanto, uma baixa persistência aos choques.

3 MODELOS DE VOLATILIDADE

Para analisar a volatilidade do preço do barril de petróleo do tipo WTI e do tipo BRENT, utilizar-se-á modelos da família ARCH, que proporcionam uma *proxy* para a volatilidade do retorno de uma *commodity* ou ativo, através da variância condicional calculada em tais modelos. Partir-se-á do modelo ARCH proposto por Engle (1982) para formaliza-se as variantes desta família de modelos. Assim, partindo do modelo ARCH, proporcionar-se-á o desenvolvimento dos modelos GARCH, EGARCH, TARARCH e GJR-GARCH, que indicarão através da estimação de seus parâmetros, o tamanho da reação e da

persistência da série após sofrer um choque, além da verificação de possibilidade de assimetria das informações, destacando a presença ou não do efeito alavancagem.

O modelo de heterocedasticidade condicional autoregressiva proposto por Engle (1982) pode ser descrito através da distribuição dos erros de um modelo autoregressivo linear dinâmico. Assumindo P_t como o preço do barril do petróleo no período t e $r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1})$ o retorno do barril de petróleo entre dois períodos seguidos, pode-se representar os retornos gerados pelo seguinte processo autoregressivo:

$$r_t = \phi_0 + \sum_{i=1}^k \phi_i r_{t-i} + \varepsilon_t \quad (1)$$

onde, r_t é o retorno do preço do barril de petróleo em logaritmo no período t , o qual é função de seus valores com k defasagens.

O modelo ARCH(p) representa a variância condicional de (1) para a média condicional como função dos erros defasados elevados ao quadrado, ou seja, assumindo que

$$\varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim N(0, \sigma_t^2) \quad (2)$$

$$\sigma_t^2 = E[\varepsilon_t^2 | \Omega_{t-1}] = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (3)$$

onde, σ_t^2 é a variância condicionada as informações defasadas, que são representadas por Ω_{t-1} . Para assegurar que a variância condicional atenda alguns requisitos, tais como, não assumir valores negativos e ser fracamente estacionária, deve-se assumir algumas condições sobre os parâmetros da equação (3): $\alpha_0 > 0$ e $\alpha_i > 0$. As inovações ε_t não são serialmente correlacionadas, mas são estocasticamente independentes. Engle (1982) assume que a distribuição condicional das inovações ε_t pode ser representada por uma distribuição do tipo gaussiana.

Partindo deste modelo de heterocedasticidade condicional autoregressiva proposto por Engle (1982), Bollerslev (1986) construiu uma generalização do mesmo, denominado modelo GARCH(p,q), obtendo assim, um modelo mais parcimonioso. Sua proposta pode ser formalizada da seguinte forma:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^q \beta_i \sigma_{t-i}^2 \quad (4)$$

onde, σ_t^2 é a variância condicional ou a volatilidade da série de retornos; ε_{t-i}^2 são as informações defasadas da volatilidade; σ_{t-i}^2 representa as variâncias previstas passadas. O modelo GARCH(p,q) é o modelo com heterocedasticidade condicional autoregressiva generalizado, onde p representa a ordem do componente ARCH e q representa a ordem do componente GARCH. Este modelo possibilita a descrição da volatilidade do retorno de uma série como função de uma constante, das informações sobre a volatilidade defasadas e da variância prevista nos períodos passados.

Na literatura, destaca-se a aplicação do modelo GARCH(1,1) como uma especificação com grande robustez. O modelo GARCH(1,1) apresenta o seguinte formato:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (5)$$

Para garantir que este modelo não assuma valores negativos para a variância e que esta seja fracamente estacionária, os parâmetros do modelo apresentado na equação (5) devem atender as seguintes restrições: $\alpha_0 > 0$, $\alpha_1 > 0$, $\beta_1 > 0$ e $\alpha_1 + \beta_1 < 1$. A persistência de choques na série dos retornos do preço do barril de petróleo pode ser identificada pela soma dos parâmetros α_1 e β_1 . Valores próximos de um para soma destes parâmetros promovem uma maior lentidão na dissipação de um choque sofrido pela série, ou seja, maior será o tempo

necessário para que a série volte aos valores apresentados antes do momento do choque. Normalmente, a literatura destaca resultados empíricos onde estes parâmetros assumem os seguintes valores $\alpha_1 \cong 0,2$ e $\beta_1 \cong 0,8$.

Os outros dois modelos que serão utilizados, TARCH e EGARCH, são variantes do modelo GARCH que foram propostos por Zakoian (1994) e Nelson (1991), respectivamente. Estes modelos surgiram com o propósito de aperfeiçoar o modelo GARCH de Bollerslev (1986), garantindo ao mesmo o poder de avaliação do impacto das informações positivas e negativas sobre a volatilidade do retorno de uma série. Para os autores do modelo TARCH e EGARCH, as informações no mercado financeiro têm impactos diferenciados sobre a volatilidade de uma série. Informações sobre choques negativos nos preços são seguidas de um maior nível de volatilidade da série do que quando as informações são sobre choques positivos. Este fenômeno é de tal relevância que ganhou até uma denominação, efeito alavancagem.

Seguindo Zakoian (1994), o modelo *threshold* com heterocedasticidade condicional autoregressiva, TARCH(p,q), apresenta-se no seguinte formato:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2 + \sum_{n=1}^k \gamma_n d_{t-n} \varepsilon_{t-n}^2 \quad (6)$$

onde, os parâmetros α_i e β_j são os mesmo do modelo GARCH; d_{t-n} é uma variável *dummy* que apresentará valor igual a 1 para informações negativas ($\varepsilon_{t-n} < 0$) e valor igual a zero para informações positivas ($\varepsilon_{t-n} > 0$); γ_i é o parâmetro que evidencia a ocorrência de assimetria nas informações, onde $\gamma_n = 0$ indicará a ausência de assimetria e $\gamma_n \neq 0$ indicará a presença de assimetria. Caso se encontre valores negativos para γ_n , evidenciar-se-á a presença do efeito alavancagem.

Assim como apresentado no modelo GARCH, a persistência de choques na série dos retornos do preço do barril de petróleo pode ser identificada pela soma dos parâmetros α_i e β_j . O impacto de uma informação negativa sobre a volatilidade dos retornos de uma série será dado pela soma dos parâmetros os α_i e γ_n , enquanto que o impacto de uma informação positiva será dado pelo parâmetro os α_i .

A formalização do modelo EGARCH(p,q) proposto por Nelson (1991), que trata o efeito dos choques de forma exponencial, pode ser realizada da seguinte forma:

$$\ln(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left| \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}} \right| + \sum_{j=1}^q \beta_j \ln(\sigma_{t-j}^2) + \sum_{n=1}^k \gamma_n \frac{\varepsilon_{t-n}}{\sigma_{t-n}} \quad (7)$$

onde $\gamma_n = 0$ indicará a ausência de assimetria e $\gamma_n \neq 0$ indicará a presença de assimetria. Caso se encontre valores negativos para γ_n , evidenciar-se-á a presença do efeito alavancagem.

Por fim, também admitindo a hipótese de assimetria nas informações, Glosten, Jagannathan e Runkle (1993) apresentaram um modelo denominado como GJR-GARCH (p,q), dado pela equação:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \gamma d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 \quad (8)$$

onde, d_{t-1} é uma variável *dummy*, tal que $d_{t-1} = 1$, se $\varepsilon_{t-1} < 0$ e $d_{t-1} = 0$, se $\varepsilon_{t-1} > 0$. Se $\gamma = 0$, não haverá efeito assimétrico. A assimetria é capturada pelo coeficiente γ que indica a influência com que os choques negativos apresentam impactos maiores do que os positivos sobre a volatilidade. O coeficiente mede a persistência dos choques nas variâncias futuras.

Apresentada a formalização dos modelos que serão utilizados para descrever a volatilidade da série do retorno do preço do barril de petróleo, tanto do tipo BRENT como do tipo WTI, seguir-se-á com a descrição do processo utilizado para realização das estimações sobre os modelos.

4 ESTIMAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

4.1 Estimação

O método utilizado para estimação dos parâmetros dos modelos em questão, será o método de Máxima Verossimilhança. Os procedimentos adotados para tal estimação podem ser descritos como segue: conforme Issler (1999), primeiro é necessária a decomposição da densidade conjunta da amostra (r_1, \dots, r_T) recursivamente, como um produto das densidades condicionais para formar

$$f(r_1, \dots, r_T; \theta) = \prod_{t=1}^T f(r_t | r_{t-1}, \dots, r_{t-k}; \theta) \quad (9)$$

em que θ é o vetor de parâmetros de densidade conjunta, r_t é o vetor que contém a variável explicada e T é o número de observações. O condicionamento em relação às observações pré-amostrais está implícito. Assumindo-se, por exemplo, normalidade condicional para as inovações ε_t do modelo GARCH(p,q), têm-se que

$$f(r_t | r_{t-1}, \dots, r_{t-k}; \theta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_t}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\varepsilon_t^2}{\sigma_t^2}\right) \quad (10)$$

Com a especificação correta da forma funcional de $f(r_t | r_{t-1}, \dots, r_{t-k}; \theta)$, a função de verossimilhança condicional pode ser escrita como:

$$\begin{aligned} \ln(L(\theta); \cdot) &= \sum_{t=1}^T \ln f(r_t | r_{t-1}, \dots, r_{t-k}; \theta) \\ \ln(L(\theta); \cdot) &= \frac{-T}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \ln(2\sigma_t^2) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \frac{\varepsilon_t^2}{\sigma_t^2} \end{aligned} \quad (11)$$

Para que possamos utilizar tais modelos e seguir como processo de estimação descrito acima, é necessária a realização de teste de heterocedasticidade condicional autoregressiva. A utilização de tais modelos exige a aceitação da hipótese de efeito ARCH, ou seja, os resíduos devem ser heterocedásticos. Assim, utilizou-se o teste do Multiplicador de Lagrange (ARCH LM test) para verificação do formato homocedástico ou heterocedástico dos resíduos. Este teste é assintoticamente distribuído como uma qui-quadrado com p graus de liberdade. Sua estatística de teste é formada pelo produto entre o número de observações, n , e o R^2 da regressão. Caso nR^2 seja superior a o valor crítico da tabela de χ^2 , há presença do efeito ARCH, caso contrário, rejeitamos a presença de heterocedasticidade condicional.

4.2 Descrição e Tratamento dos Dados

Os dados utilizados referem-se ao retorno sobre o logaritmo do preço do barril de petróleo, tanto do tipo BRENT como do tipo WTI, e correspondem ao período de primeiro de janeiro até 12 de novembro de 2008, totalizando 220 observações. Estes foram coletados junto ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Para realização das estimações e teste estatísticos, usou-se mão do Software Eviews 8.0.

A escolha por se trabalhar como o retorno, sobre o logaritmo do preço do barril de petróleo, ao invés de trabalhar com a série dos preços é justificada pelo fato dos retornos serem adimensionais, garantido assim, uma medida percentual do investimento. Além disso, trabalhar com a série dos retornos, ou seja, com a série em primeira diferença, possibilita o atendimento de propriedades estatísticas desejadas e uma maior facilidade de tratamento.

Como destacado na subseção anterior, o teste LM-ARCH será utilizado para verificação do efeito ARCH. Dada a confirmação do mesmo para as séries do preço do petróleo analisadas, segue com o processo de identificação dos modelos, que se dará via análise dos resíduos e dos critérios de seleção.

Dessa maneira, serão construídas as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial do quadrado do resíduo para identificação e validação das especificações, como destacado por Franses e Djik (2000). Em seguida, dado que as referidas funções determinam o número máximo de defasagens para cada componente, serão utilizadas as estatísticas AIC e BIC para definir, entre as especificações plausíveis, o modelo que melhor explica a volatilidade das séries.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir têm-se a apresentação gráfica das séries utilizadas, quais sejam, do preço do barril de petróleo do tipo BRENT e WTI e de seus respectivos retornos:

Gráfico 1 – Comparação dos Preços Internacionais do Barril de Petróleo BRENT e WTI

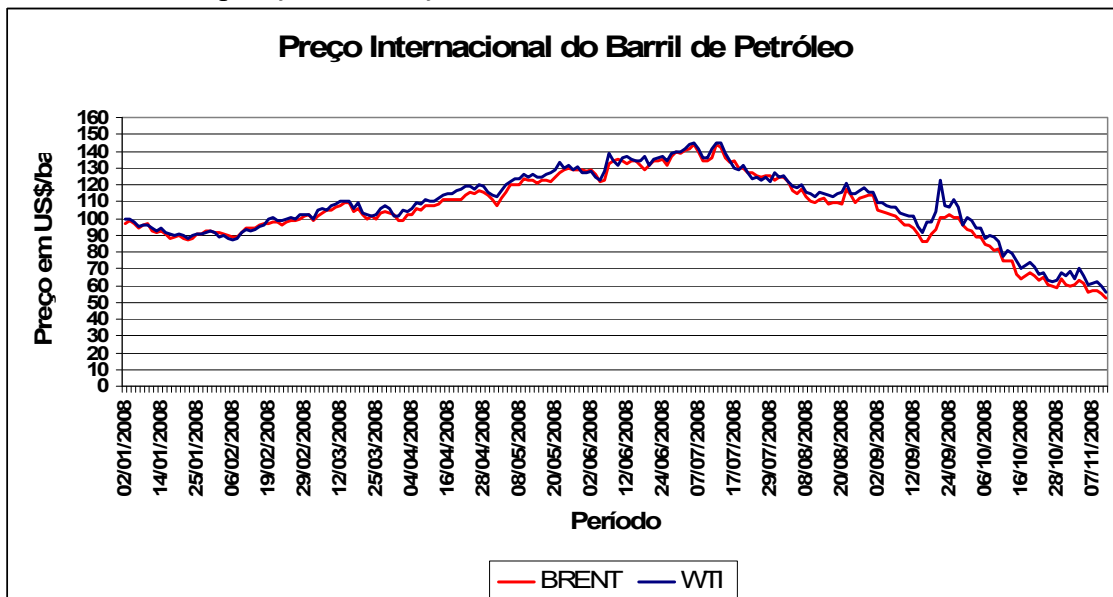


Gráfico 2 – Preço e Retorno do Barril de Petróleo do Tipo BRENT

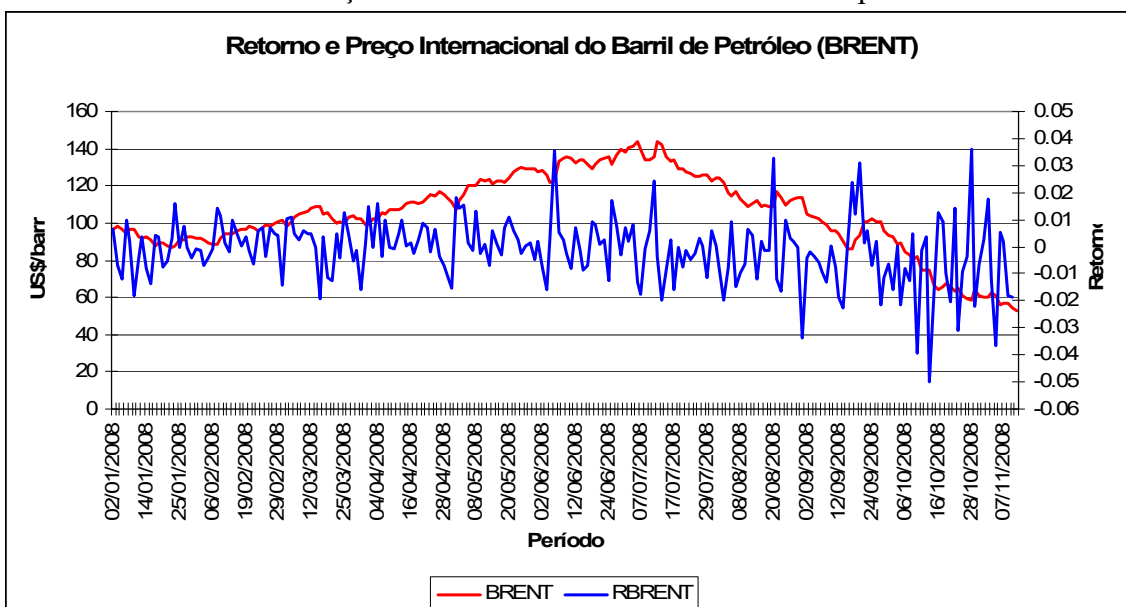
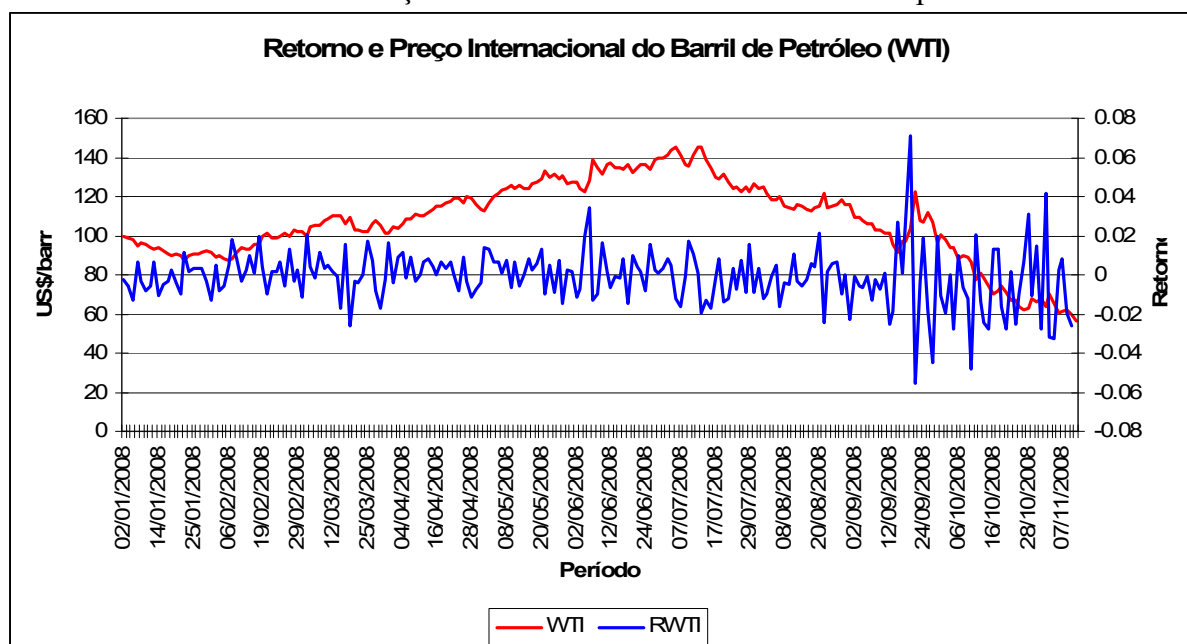


Gráfico 3 – Preço e Retorno do Barril de Petróleo do Tipo WTI



No que segue, para validar o uso dos modelos de volatilidade foi realizado o teste de multiplicador de Lagrange para identificação do efeito ARCH. Os resultados para ambas as séries tratadas são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1 – Teste LM-ARCH

Série	LM-ARCH	<i>p</i> -valor
BRENT	0,21	0,65
WTI	1,76	0,18

Fonte: elaboração própria.

Os resultados para o teste de multiplicador de Lagrange apresentados na tabela 1 deixam clara a presença do efeito ARCH, ou seja, que as séries apresentam heterocedasticidade condicional. Admitindo um nível de significância de 1%, com um *p*-valor de 0,65 e 0,18 para o teste LM-ARCH das séries do preço do petróleo do tipo Brent e WTI, respectivamente, é razoável não rejeitar a hipótese nula de heterocedasticidade condicional.

Considerando o efeito ARCH, passa-se a análise dos resíduos para identificação do modelo que melhor explique a volatilidade das séries. Foram construídas as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial para os resíduos de ambas as séries analisadas. Como resultado, verifica-se um número máximo do componente ARCH igual a 1 e do componente GARCH igual a 2. A ordem do componente de assimetria (EGARCH/TARCH) foi escolhida pelos critérios de seleção AIC e SBC. O modelo escolhido, dentre as opções sugeridas pelas funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, foi definido pelo menor valor para os critérios AIC e SBC, conforme a Tabela 2.

Após a análise dos critérios de seleção AIC e SBC, evidencia-se os modelos GARCH(1,2), EGARCH(1,2), TARCH(1,1) e GJR-GARCH(1,2) como os de melhores desempenho para analisar os movimentos contidos na volatilidade do preço do petróleo num ambiente de crise, quais sejam persistência e assimetria sobre as séries dos retornos do preço do barril de petróleo do tipo BRENT e WTI. A escolha dos mesmos modelos para ambas as séries é plausível, visto que as séries são quase idênticas, diferenciando em cerca de dois ou três dólares a mais para o preço do barril do tipo WTI. A diferença entre estes tipos de petróleo está relacionada aos produtos que são originados do processamento dos mesmos.

Os resultados das estimações dos modelos para análise da série do retorno do petróleo do tipo BRENT estão apresentados na tabela 3.

Tabela 2 – Processo de Identificação: Critérios de Seleção do Modelo.

Série	Modelo		AIC	SBC	
BRENT	GARCH	(1,1)	-4,53	-4,45	
		(1,2)	-4,53	-4,46	
	EGARCH	(1,1)	-4,34	-4,27	
		(1,2)	-4,38	-4,28	
	TARCH	(1,1)	-4,57	-4,49	
		(1,2)	-4,54	-4,45	
	GJR-GARCH	(1,1)	-4,78	-4,46	
		(1,2)	-4,59	-4,39	
	WTI	GARCH	(1,1)	-4,27	-4,19
			(1,2)	-4,33	-4,24
EGARCH		(1,1)	-4,25	-4,15	
		(1,2)	-4,26	-4,15	
TARCH		(1,1)	-4,26	-4,17	
		(1,2)	-4,21	-4,17	
GJR-GARCH		(1,1)	-4,30	-4,09	
		(1,2)	-4,27	-4,03	

Fonte: elaboração própria.

Tabela 3 – Resultados das estimações dos modelos para série do petróleo do tipo BRENT.

Média	AR	AR	AR	AR
AR(1)	0.11 (2.67)	0.11 (1.59)	0.12 (2.50)	0.14 (1.87)
Variância	GARCH	EGARCH	TARCH	GJR-GARCH
α_0	16.14 (11.43)	-9.66 (-28.10)	5.96e-06 (3.44)	7.0e-04 (4.91)
ε_{t-1}^2	-0.06 (-32.49)		-0.07 (-5.20)	-0.03 (-2.09)
σ_{t-1}^2	-0.34 (-8.70)		0.89 (36.22)	0.02 (0.24)
σ_{t-2}^2	-0.89 (-26.31)			
$d_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2$			0.26 (4.51)	0.09 (1.96)
$ \varepsilon_{t-1} / \sigma_{t-1} $		-0.07 (-1.25)		
$\ln(\sigma_{t-1}^2)$		-0.88 (-15.02)		
$\varepsilon_{t-2}/\sigma_{t-2}$		0.12 (2.44)		
$\varepsilon_{t-1}/\sigma_{t-1}$		0.79 (13.70)		

Fonte: elaboração própria.

Obs.: as estatísticas t são os valores entre parênteses.

No que diz respeito à persistência dos choques, o modelo GARCH não apresentou bons resultados, visto que os parâmetros não respeitaram as restrições $\alpha_i > 0$ e $\beta_i > 0$. Apesar destes apresentarem significância estatística, negar as restrições estabelecidas pelo modelo evidencia falhas na explicação da volatilidade da série. Os modelos GJR-GARCH e EGARCH também apresenta o mesmo problema de negação das restrições para os parâmetros alfa e beta. Por fim, o modelo TARARCH apresentou melhor ajuste na determinação da persistência de um choque sobre a série, a soma dos parâmetros alfa e beta igual a 0,82 apresenta que choques na série são lentamente dissipados.

A presença de assimetria na série é destaca pelos modelos TARARCH, EGARCH e GJR-GARCH, que apresentaram coeficientes positivos e significativos. Valores positivos para os coeficientes que mede o nível de assimetria são responsáveis pela rejeição do efeito alavancagem, ou seja, informações sobre choques negativos nos preços foram seguidas de um menor nível de volatilidade da série do que quando as informações são sobre choques positivos.

Tabela 4 – Resultados das estimações dos modelos para série do petróleo do tipo WTI.

Média	AR	AR	AR	AR
AR(1)	0.95 (0.20)	0.70 (5.11)	0.96 (22.82)	0.87 (12.32)
MA(1)	-0.32 (-16.51)	-0.75 (6.02)	-0.92 (-18.37)	-0.83 (-12.19)
Variância	GARCH	EGARCH	TARCH	GJR-GARCH
α_0	1.07e-05 (1.47)	-0.36 (-1.34)	1.02e-05 (3.05)	4.6e-05 (1.57)
ε_{t-1}^2	0.24 (7.09)		0.21 (5.66)	0.22 (3.10)
σ_{t-1}^2	-0.34 (-0.12)		-0.11 (-7.95)	0.76 (9.57)
σ_{t-2}^2	0.85 (26.11)			
$d_{t-1}\varepsilon_{t-1}^2$			0.02 (0.50)	-0.03 (-0.22)
$ \varepsilon_{t-1} / \sigma_{t-1} $		0.23 (2.31)		
$\ln(\sigma_{t-1}^2)$		0.97 (3.85)		
$\varepsilon_{t-2}/\sigma_{t-2}$		0.16 (1.74)		
$\varepsilon_{t-1}/\sigma_{t-1}$		-0.20 (-2.57)		

Fonte: elaboração própria.

Obs.: as estatísticas t são os valores entre parênteses.

Para a série do petróleo do tipo WTI, o modelo GARCH apresentou nível de persistência mais moderado. A soma dos parâmetros alpha e beta apresentou valor igual a 0.75, confirmando assim, uma persistência inferior a observada para a série do petróleo do tipo Brent. Desta forma, um choque na série levará um menor período para ser dissipado. Tal fato também é confirmado pelo modelo EGARCH e TARCH, cuja soma dos coeficientes mostrou-se positiva e significativa. Também em conformidade aos demais modelos, o GJR-GARCH aponta para um elevado valor para soma dos componentes de reação e persistência,

o qual iguala-se 0.98 e, portanto, aproximando-se daquele visto para série do petróleo Brent. Desta forma evidencia-se uma forte persistência na volatilidade da série após um choque ocorrer. A presença de assimetria na série é destaca pelos modelos GARCH, que apresentou coeficiente negativo e significativo. Valores negativos para os coeficientes que mede o nível de assimetria são responsáveis pela aceitação da presença do efeito alavancagem, ou seja, informações sobre choques negativos nos preços foram seguidas de um maior nível de volatilidade da série do que quando as informações são sobre choques positivos. O modelo TARARCH não corrobora o resultado obtido pelo modelo EGARCH no que diz respeito ao efeito alavancagem. Mesmo assim, ele também apresentou a presença de assimetria de informação, embora de forma pouco representativa. Por fim, assim como para a série do petróleo Brent, o modelo GJR-GARCH não apresentou indícios de assimetria.

Diante dos resultados das tabelas 3 e 4, é possível verificar resultados bastantes semelhantes para as análises da volatilidade dos preços praticados nos mercados do tipo Brent e WTI. Ambas as séries mostram persistência a choques moderadas, sendo os mesmos característicos de curto prazo. No entanto, no que tange a questão da assimetria, os resultados mostram-se divergentes. Por um lado, a série Brent não corrobora a hipótese do efeito alavancagem, ou seja, informas negativas não se mostram mais relevantes do as positivas para a volatilidade; por outro, a série WTI é caracteriza pelo efeito alavancagem. Embora diverjam quanto aos indícios do efeito alavancagem, em comum, pode-se dizer que as séries recebem fortes influencias das assimetrias de mercado.

Como destacado na seção 2, os efeitos da volatilidade do preço do petróleo podem variar de acordo com as características de cada economia, bem como do seu patamar de desenvolvimento. Neste sentido, diante de um contexto de crise, o que se espera das oscilações do preço do petróleo, como apresentado nas tabelas 3 e 4, é, primeiro, que tais efeitos sejam de curto prazo; segundo, que sejam diferenciados de acordo com o tipo de petróleo utilizado, já que as assimetrias impactam diferentemente as duas séries.

Embora a análise compreenda um período de dificuldades econômicas para a economia global, um indicativo de moderação para a persistência dos choques não implica diretamente num agravamento da situação de longo prazo, ou seja, por se tratar de um efeito sobre a volatilidade que se dissipa no curto prazo, não se observa grandes prejuízos a situação econômica, como destacado por Bernanke, Gertler e Watson (1997) e Pyndick (2003).

Os resultados para a questão da assimetria também trazem implicações importantes. Dado que o setor financeiro atua de forma significativa sobre o lado real da economia, em destaque para o fluxo de comércio entre as nações, considerações sobre tais efeitos sugerem um componente relevante a formulação de política. De um lado, o mercado que negocia o petróleo Brent, que não esta sujeito ao efeito alavancagem, sugere que as economias apresentaria maiores dificuldades, independentemente do tipo de informação, durante um cenário de crise; do outro, para aquelas economias que trasacionam principalmente com o mercado do petróleo tipo WTI, as condições seriam agravadas quando os fatos condigam com informações negativas.

Finalmente, é razoável supor que aquelas economias cuja dependência do petróleo seja superior, como é o caso de economias emergentes e em desenvolvimento, sintam um maior impacto quanto maior for a volatilidade do preço do petróleo. O mesmo pode ser dito para economias importadoras líquidas desta *commoditie*.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho analisou-se a volatilidade do preço do barril de petróleo do tipo WTI e do tipo BRENT num contexto de crise, estimando a reação provocada por choques, a persistência dos mesmos e verificando a presença de assimetria nas informações.

As séries de preços do petróleo do tipo WTI e BRENT apresentaram persistência moderada e evidências de assimetria nas informações. Desta forma, as séries levam poucos períodos para retornarem aos seus patamares anteriores e informações positivas e informações negativas tem impactos diferenciados sobre as séries quando o contexto vivenciado é o de crise.

Na série do retorno do preço do petróleo do tipo WTI diagnosticou-se um valor superior ao da série do retorno do preço do petróleo do tipo BRENT. Isto evidencia uma menor persistência da volatilidade da série WTI em relação à série BRENT ao serem afetadas por um choque.

No que diz respeito à assimetria nas informações, verificou-se que na série do retorno do preço do petróleo do tipo WTI evidências do efeito alavancagem, enquanto que na série do retorno do preço do petróleo do tipo BRENT não apresentou tais indícios. Assim, a série do preço do petróleo do tipo WTI possui uma maior volatilidade ocasionada por informações negativas do que a série do retorno do preço do petróleo do tipo BRENT, pelo menos quando o estado econômico predominante é de crise.

REFERÊNCIAS

- AIUBE, F. A. L.; BAIDYA, T. K. N. **Analysis of the behavior of volatility in crude oil prices**. VI Brazilian Finance Conference, 2006.
- BARSKY, R.; KILIAN, L. **Oil and the macroeconomy since the 1970s**. Working paper 10855, NBER. 2004.
- BERNANKE, B. S.; GERTLER, M.; WATSON, M. W. Systematic Monetary Policy and the Effects of Oil Price Shocks. **Brookings Papers on Economic Activity**, v. 1, p. 91-157. 1997.
- BOLLERSLEV, T. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, vol. 31, p. 307-327, 1986.
- BRADFORD, D. L.; SHLEIFER, A.; SUMMERS, L. H.; WALDMANN, R. J. Positive Feedback Investment Strategies and Destabilizing Rational Speculation. **Journal of Finance**, 45(2), pp. 379-395, 1990.
- BUENO, R. L. S. *Econometria de séries temporais*. Cengage Learning, 1ª ed. 2008.
- ENDERS, W. *Applied econometrics time series*. Wiley, 2ª ed. 2003.
- ENGLE, R. F. Autorregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, vol. 50, nº. 4, p. 987-1007, 1982.
- FRANSES, P. H.; VAN DIJK, D. **Non-linear time series models in empirical finance**. Cambridge University Press, 2000.
- GREENE, W. H. *Econometric Analysis*. Prentice Hall, 5ª ed. 2002.
- HORAN, S. M., PETERSON, J. H., MAHAR, J. Implied volatility of oil futures options surrounding OPEC meetings. **The Energy Journal**, vol 25, no. 3, 103-125, 2004.
- IPEADATA. <<http://www.ipeadata.gov.br/>> acesso em: 29/10/2014.
- ISSLER, J.V. Estimating and Forecasting the Volatility of Brazilian Finance Series Using ARCH Models. *The Review Brazilian of Econometrics*. Vol. 19, nº. 1, 5-56, 1999.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. *Análise de Séries Temporais*. Edgard Bloucher, 2ª. Ed. 2004.
- MUSSA, M. **The impact of higher oil prices on the global economy**. International Monetary Fund. 2000.

NELSON, D. B. Conditional heteroscedasticity in assets returns. **Econometrica**, v.59, p.347-370, 1991.

PINDYCK, R S. **Volatility in natural gas and oil markets**. MIT, Cambridge, 2003.

PINTO JR, H. Q.; IOOTY, M. P.; FERNANDES, C. F. **O mercado internacional do petróleo: preços altos significam maior volatilidade?** In: Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 2006.

SUMMERS, L.; SHLEIFER, A. The Noise Trader Approach to Finance. **Journal of Economic Perspectives**, v. 4, no. 2, p. 19-23, 1990.

SWARAY, R. B. Volatility primary commodity prices. Agricultural Exports in Sub-Saharan Africa. Discussion Papers in Economics, n.2002/06, University of York, 2002.

VICTOR, K. N. G.; PIRRONG, S. C. Price dynamics in refined petroleum spot and futures markets. **Journal of Empirical Finance**, p. 359-388,1996.

ZAKOIAN, J. M. Threshold Heteroskedasticity Models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v.18, p.931-955. 1994.