

i

Ibmec

FACULDADE DE ECONOMIA E FINANÇAS IBMEC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM
ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
PROFISSIONALIZANTE EM ADMINISTRAÇÃO

**UMA ANÁLISE DA VOLATILIDADE
CONDICIONAL DOS PREÇOS DO
PETRÓLEO**

JOÃO MÁRCIO SILVEIRA THOMAZ BATALHA

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO NASCIMENTO
DE OLIVEIRA

Rio de Janeiro, 30 de abril 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UMA ANÁLISE DA VOLATILIDADE CONDICIONAL DOS PREÇOS DO
PETRÓLEO**

JOÃO MÁRCIO SILVEIRA THOMAZ BATALHA

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado Profissionalizante em
Administração como requisito parcial para
obtenção do Grau de Mestre em
Administração.
Área de Concentração: Administração
Geral

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO NASCIMENTO DE OLIVEIRA

Rio de Janeiro, 30 abril de 2008.

**UMA ANÁLISE DA VOLATILIDADE CONDICIONAL DOS PREÇOS DO
PETRÓLEO**

JOÃO MÁRCIO SILVEIRA THOMAZ BATALHA

Dissertação apresentada ao curso de
Mestrado Profissionalizante em
Administração como requisito parcial para
obtenção do Grau de Mestre em
Administração.
Área de Concentração: Administração
Geral

Avaliação:

BANCA EXAMINADORA:

PROF. DR. FERNANDO NASCIMENTO DE OLIVEIRA(Orientador)
Instituição: IBMEC RJ

PROF. DR. MARCELO DE ALBUQUERQUE E MELLO
Instituição: IBMEC RJ

PROF. DR. ALBINO LOPES D ALMEIDA
Instituição: UFRJ

Rio de Janeiro, 30 de abril de 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA

Entrar em contato com a biblioteca no 14º andar,
ou através do e-mail: geyza@ibmecrj.br

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Fernando Nascimento, meu orientador, gostaria de agradecer a incansável paciência na revisão do texto, os valiosos comentários, críticas, sugestões e incentivo, que foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Agradeço também ao Professor Marcelo Mello pelo aprendizado proporcionado por suas aulas. Ao coordenador do mestrado em administração Professor Roberto Marcos da Silva Montezano, pela atenção dispensada e sugestões sempre oportunas.

A Petrobras pelo patrocínio e a oportunidade de aprendizado contínuo, e em especial a José Roberto Volpi, Gelson Serva, Ticiane Jereissati, Luciene de Alencar Paiva e Ivan de Sá. A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio e a colaboração destas pessoas. Cada uma, em determinado momento de minha carreira na Petrobras, contribuiu de alguma forma para realização deste trabalho.

Ao amigo Anselmo Negrão pelo apoio e pela amizade, pelos inúmeros comentários e sugestões, assim como pela revisão do texto. Ao amigo Fred Wong pela amizade, reforçada ao longo do curso pela constante troca de idéias.

A minha esposa Danielle, que compartilhou comigo as dificuldades e desafios na realização deste trabalho, agradeço o apoio incondicional à companhia o afeto e a paciência. Sua presença e seu constante incentivo foram a minha fonte de energia e inspiração para percorrer esta longa e difícil jornada. A meus pais pelo incentivo constante e pelo carinho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a volatilidade condicional dos retornos diários dos preços dos contratos futuros de petróleo *West Texas Intermediate* (WTI), transacionados na *New York Mercantile Exchange* (NYMEX), para o período de janeiro de 1985 a setembro de 2007. Procuramos verificar se houve aumento na volatilidade condicional no período recente como consequência do aumento nos volumes negociados nos mercados futuros. Utilizando o modelo de volatilidade condicional ARMA (3,0) GARCH (1,1) com distribuição *t de student*, constatamos que apesar dos aumentos nos volumes transacionados nos mercados futuros, não houve aumento da volatilidade condicional. Na realidade, houve uma redução na volatilidade condicional no período entre 2004-2007. Houve também uma queda na persistência dos choques, indicando que estes são cada vez mais transitórios. Os resultados em relação à hipótese de existência de assimetria na volatilidade condicional para os retornos do petróleo não foram conclusivos.

ABSTRACT

This paper analyzes the conditional volatility of the daily returns in the future contracts prices of crude oil West Texas Intermediate (WTI), traded in New York Mercantile Exchange (NYMEX), from January 1985 to September 2007. We verify if there was an increase in the conditional volatility as a consequence of the increasing volumes negotiated at the future markets. Using the conditional volatility model ARMA (3,0) GARCH (1,1) with *t-student* distribution, we conclude that in spite of the increasing volumes traded in the future markets, there was no increase in the conditional volatility. In reality, there was a reduction in the conditional volatility between 2004-2007, and also a fall in persistence of shocks, indicating that these are increasingly transitory. The results in relation to the hypothesis of asymmetry in the conditional volatility for the returns of crude oil were not conclusive.

LISTA DE FIGURAS

Fig.1 - Evolução: Preços Nominais Petróleo WTI Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	18
Fig.2 - Resultado: Teste Resíduos Recursivos Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	35
Fig.3 - Resultado: Modelo GARCH de Volatilidade Condicional Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	48
Fig.4 - Volatilidade e Quantidade de Contratos NYMEX: <i>Commercials</i> e <i>Non-Commercials</i> Período: Janeiro/1986 a Dezembro/2007.....	50
Fig.5 - Dinâmica: Mercado Futuro x Estoques Período: Janeiro/1985 a Setembro/2007.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Posição Líquida Mercado Futuro de Petróleo WTI: <i>Commercials</i> e <i>Non-Commercials</i> . Período: Janeiro/1986 a Dezembro/2007.....	32
Tabela 2 - Resultado: Teste de Chow.....	34
Tabela 3 - Análise Descritiva: Preços Petróleo WTI.....	36
Tabela 4 - Análise Descritiva: Retornos Petróleo WTI.....	37
Tabela 5 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional GARCH Distribuição Normal. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	44
Tabela 6 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional GARCH Distribuição Student. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	44

Tabela 7 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional GARCH Distribuição GED. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	45
Tabela 8 - Modelos de Volatilidade Condicional GARCH Selecionados Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	45
Tabela 9 - Resultados: Modelo de Volatilidade Condicional ARMA (3,0) GARCH (1,1)....	46
Tabela 10 - Resultado Consolidado: Modelo de Volatilidade Condicional GARCH	48
Tabela 11 - Resultado: Teste Causalidade de Granger Período: 1986 a 2007.....	51
Tabela 12 - Volatilidade e Quantidade de Contratos NYMEX: <i>Commercials e Non-Commercials</i> . Período: 1985 a 2007.....	52
Tabela 13 - Volatilidade x Mercado Futuro Período: Janeiro/1985 a Setembro/2007.....	56
Tabela 14 - Modelos de Volatilidade Condicional Selecionados Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	57
Tabela 15 - Resultados: Modelo de Volatilidade Condicional ARMA (3,0) ARCH (3).....	58
Tabela 16 - Resultados: Modelo de Volatilidade Condicional ARMA (3,0) TARCH (1,1)....	60
Tabela 17 - Resultados: Modelo de Volatilidade Condicional ARMA (3,0) EARCH (1,1)....	62
Tabela 18 - Comparação: Resultados Modelos de Volatilidade Condicional Dentro da Amostra.....	66
Tabela 19 - Comparação: Resultados Modelos de Volatilidade Condicional Fora da Amostra.....	69

LISTA DE ANEXOS

Tabela 1 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional ARCH Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	81
Tabela 2 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional TARCH Distribuição Normal. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	81
Tabela 3 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional TARCH Distribuição Student. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	82
Tabela 4 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional TARCH Distribuição GED. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	82
Tabela 5 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional EGARCH Distribuição Normal. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	83
Tabela 6 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional EGARCH Distribuição Student. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	83
Tabela 7 - Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional EGARCH Distribuição GED. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	84
Tabela 8 - Resultados: Testes de Raiz Unitária: Augmented Dickey-Fuller (ADF) Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	85
Tabela 9 - Resultados: Testes de Raiz Unitária: Phillips-Peron(PP) Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	85
Tabela 10 - Resultados: Testes de Raiz Unitária: Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) Período: 02/01/1985 a 17/09/2007.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Autocorrelations
ADF	Augmented Dickey-Fuller
AIC	Akaike Information Criterion
API	American Petroleum Institute
ARCH	Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
ARMA	Autoregressive Moving Average
CTFC	Commodity Futures Trading Comission
EGARCH	Exponential GARCH
EIA	Energy Information Administration
EUA	Estados Unidos da América
GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
IPE	International Petroleum Exchange
KPSS	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin
MAE	Mean Absolute Error
MGB	Movimento Geométrico Browniano
MSE	Mean Squared Error
NYMEX	New York Mercantile Exchange
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PAC	Partial Autocorrelations
PP	Phillips-Peron
RMSE	Root Mean Squared Error
SBC	Schwartz Bayesian Criterion
TARCH	Threshold Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
WTI	West Texas Intermediate

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 HISTÓRIA RECENTE DOS PREÇOS DO PETRÓLEO.....	16
3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS NA LITERTURA SOBRE A VOLATILIDADE DOS RETORNOS DOS PREÇOS DO PETROLEO.....	21
4 DESCRIÇÃO DOS DADOS.....	25
4.1 Qual o Preço de Petróleo a ser Utilizado ?.....	25
4.2 Mercado Futuro de Petróleo e sua Relação com o Mercado Spot.....	26
4.3 Testes de Quebra Estrutural e Resíduos Recursivos.....	33
4.4 Análise Descritiva dos Dados.....	36
5 ANÁLISE EMPÍRICA DA VOLATILIDADE CONDICIONAL DOS RETORNOS DOS PREÇOS DO PETRÓLEO.....	42
5.1 Especificação do Modelo.....	42
5.2 Efeito do Aumento do Volume Transacionado no Mercado Futuro na Volatilidade Condicional.....	49
6 ANÁLISE DE ROBUSTEZ	57
6.1 Especificação dos Modelos.....	57
6.2 Comparação dos Modelos de Volatilidade Condicional Dentro da Amostra e Fora da Amostra.....	64
7 CONCLUSÃO.....	70
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
9 ANEXOS.....	79

1 INTRODUÇÃO

A importância econômica do petróleo resulta não somente do tamanho do seu mercado - a produção mundial em 2007 foi de aproximadamente 81,5 milhões de barris dia, e o petróleo continua sendo a principal fonte de energia, respondendo por 35,6% do consumo de energia primária do mundo em 2007 - mas também pelo fato de que o petróleo exerce um importante papel estratégico tanto para países exportadores como para países importadores. Além disso, choques nos preços do petróleo causam impactos macroeconômicos adversos como recessão e inflação.

Na década de 70 os preços eram majoritariamente determinados pelas grandes empresas petrolíferas. Após o primeiro choque do petróleo a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) emerge como grande balizador dos preços. Entretanto, a partir da década de 80, a influência da OPEP tem se reduzido e o mercado tem exercido crescente influência na determinação dos preços do petróleo, de forma que hoje a OPEP não é mais capaz de estabelecer o preço de referência para o petróleo, apesar de ainda possuir 75,5% das reservas provadas em 2007. As principais referências para a formação de preços no mercado internacional hoje são os preços spot e futuros dos petróleos WTI e Brent transacionados respectivamente na *New York Mercantile Exchange* (NYMEX) e na *International Petroleum Exchange* (IPE).

O ano de 1983 marca a introdução, pela *New York Mercantile Exchange* (NYMEX), do primeiro contrato futuro de petróleo. Ele tem como referência¹ o petróleo *West Texas Intermediate* (WTI) cuja entrega física ocorre em Cushing, Oklahoma; o petróleo tipo Brent é a referência para os contratos futuros transacionados na *London`s International Petroleum Exchange* (IPE).

As cotações do petróleo no mercado internacional têm como principais referenciais o *West Texas Intermediate* (WTI) e o Brent, e os preços são determinados com base em prêmios ou descontos em relação a estes referenciais. Os prêmios ou descontos refletem as características dos diferentes tipos de petróleo, locais de entrega, assim as condições entre oferta e demanda.

A quantidade de contratos futuros em aberto do petróleo WTI na NYMEX cresceu de um nível de 373 mil contratos dia em abril de 2005 para 626 mil em setembro de 2007, um crescimento de 68%. O volume de contratos diários no mercado futuro é superior à produção diária mundial. O tamanho de cada contrato futuro transacionado nas bolsas é de 1.000 barris, sendo assim, em 2005 negociou-se, em média, o equivalente a 373 milhões de barris dia (373 mil contratos futuros) na bolsa NYMEX, enquanto a produção diária mundial registrada de acordo com a *BP Statistical Review of World Energy* foi de 75 milhões de barris, ou seja, o mercado futuro do petróleo WTI movimentou mais que 5 vezes o volume físico produzido.

¹ Um referencial ou *benchmark* é um petróleo com características específicas, que é utilizado como parâmetro para formação de preços e para comparação com outros tipos de petróleo. Os principais referenciais são o WTI, Brent e Dubai. Estes três petróleos são utilizados como referências em suas respectivas áreas de influência, o WTI é referência para os EUA, Brent para Europa e Dubai para Ásia (*Middle East e Far East*).

Uma pergunta então surge. Será que a volatilidade condicional dos retornos dos preços do petróleo spot variou no período recente em função do aumento nos volumes negociados nos mercados futuros?

Implícita nesta pergunta está a suposição de que um aumento na participação de especuladores pode ser responsável por um aumento na volatilidade condicional dos retornos dos preços do petróleo. De acordo com Friedman (1953) o argumento de que a especulação é desestabilizadora é comparável à afirmação de que os especuladores perdem dinheiro, já que a especulação somente pode ser desestabilizadora dos preços se os especuladores “compram na alta” e “vendem na baixa”. Ainda segundo Friedman os arbitradores ao transacionarem com os especuladores trazem os preços dos ativos aos seus valores fundamentais causando perdas para os especuladores, que ao longo do tempo seriam eliminados do mercado.

Summers e Shleifer (1990) argumentam que a arbitragem no mundo real apresenta riscos, portanto é limitada e que os investidores não são completamente racionais, já que sua demanda por ativos é afetada por sentimentos, não podendo ser integralmente justificada pelos fundamentos. Como fatores limitadores a arbitragem estão o risco de uma ampliação na distorção de preços entre dois ativos semelhantes e a necessidade de liquidação da posição com os preços ainda distantes de seus valores fundamentais. Como outro fator limitador à arbitragem, podemos citar o fato de que os arbitradores não necessariamente possuem um horizonte de longo prazo. Na medida em que arbitradores forem avessos ao risco e possuírem horizontes de curto prazo a ação de especuladores pode afetar os preços levando a divergências entre preços de mercado e valores fundamentais e ao aumento da variância dos retornos.

Bradford, Waldmann, Summers e Shleifer (1990) analisaram bolhas especulativas, chegando à conclusão de que na presença de *feedback trading* positivo, onde os investidores extrapolam tendências de preços, a arbitragem pode ser desestabilizadora, neste caso os arbitadores racionalmente escolhem acompanhar a tendência causando instabilidade nos preços.

Weiner (2004) analisou a atividade de especuladores no mercado futuro de petróleo, em busca de evidências da existência de comportamento de manada (*herd behavior*) por parte de especuladores. O estudo não encontrou evidências da existência de comportamento de manada assim como conclui que a influência dos especuladores tanto sobre os preços do petróleo como sobre a volatilidade dos preços do petróleo é limitada.

O objetivo deste estudo é tentar responder se houve variação na volatilidade condicional dos retornos preços do petróleo devido ao aumento nos volumes transacionados nos mercados futuros. Na realização do estudo utilizaremos como *proxy* para o preço spot os preços de fechamento do primeiro contato futuro do petróleo *West Texas Intermediate* (WTI). As cotações do contrato futuro dizem respeito a contratos transacionados na *New York Mercantile Exchange* (NYMEX) e são usualmente utilizadas na literatura acadêmica como *proxy* para os preços spot. O período de análise vai de 2 de janeiro de 1985 a 17 de setembro de 2007, totalizando 5.692 observações.

Vamos utilizar modelos de volatilidade condicional da família GARCH que levam em conta a dependência temporal dos retornos. O Modelo GARCH, proposto por Bollerslev (1986) é uma generalização do modelo ARCH de Engle (1982), pois permite que a variância condicional corrente dependa não somente do quadrado dos retornos passados, mas também da própria variância condicional dos períodos anteriores. Os modelos GARCH foram escolhidos, pois a hipótese de retornos independentes e identicamente distribuídos não se verifica na prática, sendo assim, os retornos de ativos financeiros e de commodities não podem ser apropriadamente modelados por um modelo de volatilidade não condicional.

Os modelos de volatilidade condicional foram testados para toda a série de dados, de 1985 a 2007, como também em quatro sub-períodos (sub-período 1: 1985-1990, sub-período 2: 1991-1999, sub-período 3: 2000-2003, sub-período 4: 2004-2007) que foram escolhidos de acordo com eventos como choques na oferta ou demanda que podem causar instabilidade ou quebras estruturais nas séries de preços.

Nossos resultados indicam que não houve aumento da volatilidade condicional, apesar do aumento no volume transacionado nos mercados futuros. Na realidade houve uma redução na volatilidade condicional no período entre 2004-2007. O período de maior volatilidade (1985-1990) corresponde ao período onde ocorreram dois eventos significativos. São eles: o contra choque ocorrido em 1986 quando a Arábia Saudita abandona o papel de produtor de equilíbrio (*swing producer*) na OPEP e a Guerra do Golfo em 1990. Os coeficientes ARCH e GARCH, próximos da unidade indicam alta persistência na volatilidade condicional. Porém a persistência dos choques caiu ao longo dos sub-períodos, indicando que estes são cada vez mais transitórios.

Com relação à hipótese de existência de assimetria na volatilidade condicional, os resultados não foram conclusivos já que os coeficientes que captam a presença de assimetria nos modelos TARARCH e EGARCH foram majoritariamente não estatisticamente significantes. No entanto, no período de 2004-2007 para o modelo TARARCH e nos períodos de 1985-2007 e 2004-2007 para o modelo EGARCH, estes coeficientes se apresentaram estatisticamente significantes.

Na literatura sobre volatilidade condicional do preço do petróleo os modelos de volatilidade condicional são amplamente utilizados. Day e Lewis (1993) comparam previsões da volatilidade do preço do petróleo usando modelos GARCH(1,1) e EGARCH(1,1), volatilidade implícita e histórica. Pirrong e Victor (1996) utilizam modelos da família GARCH a fim de analisar mercados à vista e futuros para *heating oil* e gasolina, os autores constataram que 96% da variação na volatilidade condicional é explicada pela variação no *spread* entre preços à vista e futuros conhecida como base. Pyndyck (2004) analisou o comportamento da volatilidade dos preços do gás natural e petróleo utilizando modelos GARCH (1,1) e concluiu que os choques tem pouca persistência, sendo assim, afetam principalmente posições especulativas de curto prazo, não exercendo efeitos sobre as decisões de investimento de longo prazo em ativos reais.

Aiube e Tara (2006) analisaram a volatilidade condicional do petróleo usando modelos GARCH (1,1) e TARARCH (1,1). Verificaram se houve aumento na volatilidade condicional recentemente em decorrência do aumento dos preços, dos volumes negociados nos mercados futuros e da presença de agentes como *Hedge Funds*, e concluíram que não houve aumento na volatilidade condicional confirmando os resultados de Pindyck (2004).

Como contribuição deste trabalho em relação à literatura existente no Brasil, podemos mencionar a análise detalhada das características estatísticas das séries de preços e de retornos confirmando a presença na série do petróleo WTI de fatos estilizados comuns a séries financeiras; a realização de testes específicos na determinação da especificação dos modelos de volatilidade condicional e dos sub-períodos em que foram realizadas as simulações; a utilização de funções de perda na comparação do desempenho dos diversos modelos de volatilidade condicional, tanto dentro da amostra como fora da amostra.

O restante desta dissertação está estruturado da seguinte forma: a seção 2 realiza uma breve exposição da história recente da evolução dos preços do petróleo; a seção 3 descreve as evidências empíricas na literatura; a seção 4 descreve a base de dados e as propriedades estatísticas da série de preços e de retornos do petróleo WTI; a seção 5 apresenta os resultados empíricos; a seção 6 analisa a robustez dos resultados e a seção 7 apresenta as conclusões.

2 HISTÓRIA RECENTE DOS PREÇOS DO PETRÓLEO

Os preços do petróleo mantiveram uma média de USD 27,80/barril no período de 1950-1990. No período de 2000-2006, esta média sobe para USD 40,60/barril (em dólares de 2006). Os eventos mais importantes que causaram choques durante este período foram o embargo árabe em 1973, conhecido como primeiro choque do petróleo, a guerra entre o Iran e Iraque entre 1979-88, o segundo choque, a guerra do Golfo em 1990-91 e o atentado terrorista de 11 de setembro de 2001.

A partir do processo de nacionalização na indústria petrolífera ocorrido na década de 70, a OPEP passa exercer o controle sobre as atividades de exploração e produção (*upstream*), levando ao fim o sistema de mercado anterior administrado pelas *majors*, que então passaram a controlar as atividades de refino e distribuição (*downstream*). Dessa forma, a OPEP passa a determinar os preços de referência do petróleo, atuando como um cartel de forma a influenciar os preços internacionais de acordo com seus interesses.

Como resultado da guerra de Yom Kippur (1973), entre árabes e israelenses, o suprimento de petróleo para os Estados Unidos foi cortado em resposta ao auxílio destes a Israel, fazendo com que os preços do petróleo quadruplicassem passando de USD 2,83/barril em 1973 a USD 12,00/ barril no final de 1974. A revolução do Irã, um dos principais países exportadores da OPEP, no final de 1978 e a guerra que se seguiu contra o Iraque, também um grande produtor em 1980, resultaram no segundo choque do petróleo quando os preços do barril de petróleo passaram de USD 14,55 em 1978, USD 25,08 em 1979 e USD 37,96 em 1980. Nesta ocasião a produção de ambos os países foi severamente reduzida.

A recessão que se seguiu aos choques gerou uma redução da demanda, assim como o incentivo ao uso mais eficiente da energia e ao desenvolvimento de fontes alternativas, visando à redução da dependência em relação ao petróleo, como consequência houve uma redução da demanda e os preços apresentaram queda ao longo da década de 80. Os esforços da OPEP em manter quotas de produção não surtiram efeito desejado de manutenção dos preços nos patamares anteriores, na medida em que estas quotas eram sistematicamente desrespeitadas por seus próprios membros.

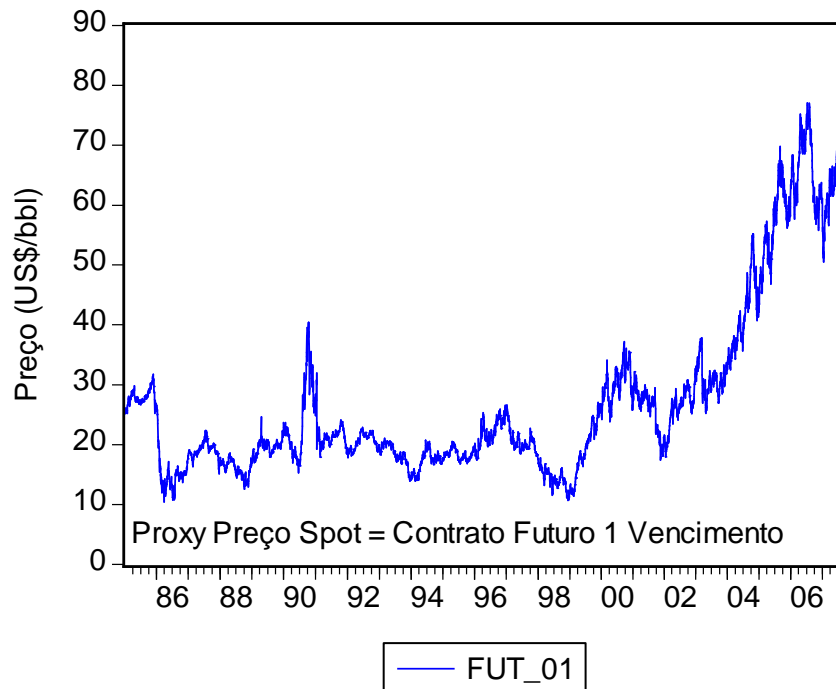
O acordo de cotas estabelecido entre seus membros determinava que a Arábia Saudita exerceria o papel de produtor de equilíbrio (*swing producer*), amortecendo os desequilíbrios entre oferta e demanda por meio de aumentos ou reduções em sua produção. Porém, a Arábia Saudita, passa a não mais aceitar a redução de suas próprias exportações a fim de compensar o não cumprimento das cotas dos demais membros.

A forte queda nos preços ocorrida em 1986, conhecida como “contra choque” foi consequência da reação da Arábia Saudita. Os preços sofreram queda de 46% passando de USD 27,98/barril em 1985 para USD 15,10/barril em 1986. Como resultado deste processo, a OPEP sai enfraquecida e os países consumidores junto com as companhias petrolíferas restabelecem sua influência na determinação dos preços através do mercado spot. Em 1991 houve nova elevação dos preços, em resposta às incertezas resultantes da invasão do Kuwait pelo Iraque, porém recuaram em função da resposta militar dos EUA que retomou o Kuwait e devido ao aumento de produção de outros países. No período de 1994 a 1998, o mercado permanece estável, flutuando dentro da banda de USD 15,00/barril e 20,0/barril.

Em 1997 tem início uma acentuada queda nos preços que atingem USD 9,00/barril no final de 1998. Podemos citar as crises econômicas do México em 1995, dos países do sudeste asiático a partir do segundo semestre de 1997 e na Rússia em 1998 como fatores que contribuíram para esta queda. Como reação aos baixos preços a OPEP desde 1998 passa a realizar cortes na produção a fim de elevar os preços. Em março de 1999 decide por um corte de 2,1 milhões de barris dia, e os preços reagem voltando à banda de flutuação anterior. Neste período a demanda volta a crescer devido a recuperação econômica dos países que se encontravam em crise desde 1997; em contrapartida há uma redução da oferta, fazendo com que os preços sofressem expressivo aumento, passando de USD 19,31/barril em 1999 para USD 30,37/barril em 2000.

Fig.1: Evolução: Preços Nominais Petróleo WTI

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007



A partir de 2001, os preços apresentam um crescimento contínuo, passando de uma média de USD 31,07/ barril, em 2003, para USD 41,49/ barril, em 2004 (um crescimento de 33,5%). Em 2006, os preços atingiram uma média de USD 66,02/barril, aproximando-se em valores ajustados pela inflação dos valores de 1982 quando o barril atingiu USD 69,08 /barril. Como fator que contribuiu para a elevação contínua dos preços do petróleo, a partir de 2001, podemos citar o crescimento da demanda superior ao crescimento da oferta não OPEP.

A demanda continua crescendo em resposta ao crescimento econômico mundial, particularmente da China e Estado Unidos. Somente a China respondeu por um terço do crescimento da demanda no período de 2003 a 2005 e a expectativa é que este padrão de crescimento se mantenha nos próximos anos. Não houve redução no crescimento da demanda nos maiores países consumidores apesar do aumento dos preços.

A oferta de produtores não pertencentes à OPEP não tem atingido volumes esperados. O crescimento da oferta² proveniente de produtores não pertencentes à OPEP não tem acompanhado o crescimento da demanda, aumentando a expectativa de crescimento da oferta de países membros da OPEP. Em 2005 e 2006 os furacões no Golfo do México foram responsáveis pelo corte de 450 mil barris dia, além de terem danificado diversas refinarias. Projetos no Mar do Norte sofreram atrasos, enquanto o aumento de impostos sobre exportações de petróleo na Rússia repercutiram negativamente sobre o crescimento da produção.

² Também contribuiu para o baixo crescimento da oferta, o sub-investimento ocorrido durante a década de 90 devido aos baixos preços neste período.

A redução da capacidade ociosa da OPEP aumentou a demanda por estoques. Estimativas da *Energy Information Administration* (EIA) indicam que a capacidade ociosa mundial é de aproximadamente um milhão de barris dia. Esta reduzida capacidade ociosa aumenta o risco de eventual ruptura no fornecimento, tendo em vista que não existe capacidade incremental de produção dos principais membros da OPEP, que possa compensar eventuais desequilíbrios entre oferta e demanda. Instabilidade geopolítica tem afetado membros da OPEP, causando redução na produção e aumentando o risco de interrupções futuras na produção. A percepção de risco devido à reduzida capacidade ociosa e a instabilidade geopolítica em países como Iraque, Iran, Nigéria e Venezuela, tem exercido pressão adicional sobre os preços.

Em resumo, uma série de fatores que vem se reforçando mutuamente, explicam a trajetória ascendente dos preços desde 2003. O crescimento da oferta em países não pertencentes a OPEP, não tem conseguido acompanhar o crescimento da demanda o que vem gerando crescente expectativa em relação ao suprimento proveniente da OPEP, em um momento de instabilidade geopolítica em países pertencentes à própria OPEP. Ao crescente risco na exploração e produção (*upstream*), podemos acrescentar a reduzida capacidade ociosa no refino (*downstream*), com utilização nos EUA de 92%-93%, e problemas climáticos na região do Golfo do México. Podemos concluir que os choques ocorridos na década de 70 induziram às mudanças estruturais no setor, como o processo de substituição do petróleo por outras fontes de energia, o uso mais racional da energia, o aumento na produção de países não pertencentes à OPEP, em parte viabilizada por inovações tecnológicas que permitiram a exploração em regiões com condições geológicas menos favoráveis. A seguir apresentaremos um resumo da literatura relacionada a volatilidade dos preços do petróleo.

3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS NA LITERATURA SOBRE A VOLATILIDADE DO PREÇO DO PETRÓLEO

Day e Lewis (1993) comparam previsões da volatilidade condicional do petróleo usando modelos GARCH (1,1) e EGARCH (1,1), volatilidade implícita e histórica, baseados em dados diários de novembro 1986 a março 1991. Analisaram a volatilidade condicional obtida por meio de modelos GARCH e EGARCH e volatilidade implícita³, dentro da amostra (*in the sample*) e testaram a efetividade dos modelos utilizando Erro Quadrático Médio e Raiz do Erro Quadrático Médio.

Também analisaram dentro da amostra (*in sample*), o ganho informacional através da inclusão da volatilidade implícita nos modelos GARCH e EGARCH. Constataram que tanto a volatilidade implícita como os modelos de volatilidade condicional GARCH e EGARCH contribuem com informação incremental sobre a volatilidade. A hipótese nula de que a volatilidade implícita resume toda a informação contida na série de retornos foi rejeitada, assim como a hipótese de que os preços das opções não proporcionam informação adicional sobre a volatilidade. Os resultados indicam que uma projeção de volatilidade que utilize conjuntamente tanto a volatilidade implícita como o modelo GARCH, podem gerar resultados superiores, na medida em que cada um dos modelos contribui com um tipo de informação única que não está contido no outro modelo. Porém, testes para a mensuração do desempenho das projeções fora da amostra indicaram que a volatilidade implícita é suficiente para projeções de curto prazo.

³ A volatilidade implícita é derivada do modelo de precificação de opções Black-Scholes. Como a volatilidade é um dos componentes na formação do preço das opções, existe uma expectativa de volatilidade (*forward-looking volatility*), embutida em seu preço, que é conhecida como volatilidade implícita.

Duffie e Gay (1995) construíram projeções dentro e fora da amostra para volatilidade condicional do petróleo, *heating oil* e gás natural, para o período de maio 1988 a julho 1992. Projeções dos modelos GARCH (1,1) , EGARCH (1,1) e GARCH Bivariado (1,1), volatilidade implícita e volatilidade histórica, foram comparadas com a volatilidade realizada por meio da Raiz do Erro Quadrático Médio. Concluíram que a volatilidade implícita gerou as melhores projeções dentro e fora da amostra, e que a volatilidade histórica gerou projeções fora da amostra superiores às da família GARCH.

Pirrong e Victor (1996) utilizam modelos da família GARCH a fim de analisar mercados à vista e futuros para *heating oil* e gasolina, e constataram que 96% da variação na volatilidade condicional é explicada pela variação no *spread* entre preços à vista e futuros conhecida como base. Constataram que o efeito da base é assimétrico: preços spot são mais voláteis quando excedem os preços futuros (*backwardation*), do que quando ocorre o oposto. Estes resultados são consistentes com a teoria da armazenagem, onde os níveis dos estoques afetam a volatilidade condicional tanto de preços à vista quanto de futuros. O estudo também conclui que os choques na volatilidade condicional são mais persistentes nos mercados futuros do que no mercado à vista, e que choques na volatilidade condicional nos mercados futuros induzem a uma maior volatilidade no mercado à vista, mas o contrário não é verdadeiro.

Routledge, Seppi e Spatt (2000) construíram um modelo microeconômico de equilíbrio para os mercados à vista e futuro de *commodities*, que incorpora oferta, demanda e estoques. Por meio deste modelo explicaram algumas diferenças fundamentais entre *commodities* e ativos financeiros como: mercados futuros de *commodities* geralmente encontram-se em *backwardation*; a estrutura a termo da volatilidade condicional dos contratos

futuros é declinante em função do horizonte do contrato. Isto significa que a volatilidade é menor caso estejamos distantes do vencimento de um contrato, ou que a volatilidade aumenta à medida que nos aproximamos de seu vencimento, este efeito foi descrito por Samuelson⁴(1965). *Commodities* apresentam pronunciada sazonalidade tanto nos preços como na volatilidade; em equilíbrio, *backwardation* implica que a propriedade física da *commodity*, gera benefícios conhecidos como taxa de conveniência ou *convenience yield*, que uma posição comprada em um contrato futuro de um ativo financeiro não geraria.

Adrangi, Chatra, Dhanda e Raffiee (2001), analisaram preços futuros do petróleo, *heating oil* e gasolina durante a década de 80, concluindo que modelos GARCH assimétricos tem uma boa performance para todos os produtos analisados, enquanto o modelo EGARCH apresenta resultados satisfatórios para petróleo e gasolina. Os autores também encontraram evidências que dão suporte a hipótese de Samuelson, segundo a qual, a volatilidade de um contrato futuro aumenta à medida que este se aproxima do vencimento.

Pindyck (2004) analisou o comportamento da volatilidade condicional dos preços do gás natural e petróleo utilizando modelos GARCH (1,1), verificou se houve aumento na volatilidade condicional em decorrência do aumento dos preços do petróleo a partir de 2000 e se o colapso da Enron exerceu algum efeito sobre a volatilidade condicional. Concluiu que os choques tem pouca persistência, sendo assim, afetam principalmente posições especulativas

⁴ A intuição em que se baseia o efeito na volatilidade descrito por Samuelson, é explicada pela relação existente entre a volatilidade de um contrato futuro e a informação disponível no mercado. Para contratos cujo vencimento ainda é distante no futuro, existe pouca informação se comparada com a quantidade de informação disponível para contratos cujo vencimento está próximo. Sendo assim, à medida que nos aproximamos do vencimento a quantidade de informação disponível que reflete a situação atual dos fundamentos de mercado que afetam o ativo aumenta causando incremento nas oscilações dos preços futuros, intensificando assim a volatilidade. As evidências empíricas em relação ao “*Samuelson effect*” não são conclusivas.

de curto prazo, não exercendo efeitos sobre as decisões de investimento de longo prazo em ativos reais.

Aiube e Tara (2006) estimaram os preços spot do petróleo WTI por meio da metodologia de Schwartz e Smith (2000) e analisaram os fatos estilizados das séries financeiras. Em seguida analisaram a volatilidade condicional do petróleo usando modelos GARCH (1,1) e TARARCH (1,1) para diferentes períodos. Os modelos foram validados, sendo que a volatilidade condicional encontrada pelo modelo TARARCH foi superior à encontrada pelo modelo GARCH em períodos de choques negativos, mostrando a efetividade do modelo TARARCH em captar a assimetria na volatilidade condicional como resultados de notícias ruins. Verificaram se houve aumento na volatilidade condicional recentemente em decorrência do aumento dos preços, dos volumes negociados nos mercados futuros e da presença de agentes como *Hedge Funds*, e concluíram que não houve aumento na volatilidade condicional. Concluíram que os choques apresentam um comportamento transitório e que recentemente houve uma redução na persistência da volatilidade condicional, confirmando os resultados de Pindyck (2004) de que os choques que afetam a volatilidade condicional exercem efeito sobre a precificação de derivativos, mas não tem efeito sobre as decisões de investimento de longo prazo. Na próxima seção apresentaremos uma breve descrição da dinâmica do comportamento dos preços futuro e spot.

4 DESCRIÇÃO DOS DADOS

4.1 QUAL O PREÇO DE PETRÓLEO A SER UTILIZADO?

No mercado à vista ocorrem diariamente transações entre inúmeros agentes que negociam diversos tipos de petróleo em localidades distintas. Sendo assim, as cotações do mercado spot podem variar de acordo com a qualidade e local de entrega, não sendo possível calcular um preço único que seja representativo do preço spot. Logo, utilizaremos como *proxy* para o preço spot os preços de fechamento diários do primeiro contrato futuro do petróleo *West Texas Intermediate* (WTI). As cotações do contrato futuro dizem respeito a contratos transacionados na *New York Mercantile Exchange* (NYMEX). Esta *proxy* foi também utilizada por Litzenberger e Rabinowitz (1995), Fleming e Ostdiek (1999), Pindyck (2001) e Aiube e Tara (2004).

O período de análise vai de 2 de janeiro de 1985 a 17 de setembro de 2007, totalizando 5.692 observações. Os modelos de volatilidade condicional serão testados para toda a série de dados, de 1985 a 2007, como também em quatro sub-períodos que serão escolhidos de acordo com potenciais pontos de quebra estrutural, que serão detectadas por meio de testes específicos.

4.2 MERCADO FUTURO DE PETRÓLEO E SUA RELAÇÃO COM O MERCADO SPOT

Keynes (1930) utiliza pela primeira vez o termo *backwardation* para descrever a situação em que o preço à vista excede o preço futuro, já *contango*, descreve a situação inversa. De acordo com Keynes a situação de *backwardation* prevalecia para a maioria das commodities, daí a expressão *normal backwardation*. A teoria do *normal backwardation* pode ser utilizada para entender o comportamento dos participantes do mercado futuro de petróleo. Para Keynes, a principal função dos mercados futuros de *commodities* é permitir a transferência de riscos entre *hedgers* e especuladores.

A teoria do *normal backwardation* postula que os *hedgers* tenderiam a manter posições líquidas vendidas e os especuladores posições líquidas compradas. Neste caso os *hedgers* pagam um prêmio de risco aos especuladores fazendo com que o preço futuro fique abaixo do valor futuro esperado para o preço à vista. Isto ocorre, pois os especuladores exigem uma compensação para assumirem os riscos e só realizarão uma operação de compra se houver expectativa de subida de preços. Como o preço futuro do ativo ao se aproximar do vencimento converge na direção de seu preço à vista, se o preço futuro estiver abaixo do valor futuro esperado para o preço à vista a expectativa é de que suba, esta situação foi denominada por Keynes (1930) de *normal backwardation*.

Supondo que um produtor de petróleo com elevada aversão ao risco deseje proteção contra oscilação de preços para suas vendas futuras; neste caso estará disposto a vender contratos futuros (*short hedger*), a preços inferiores aos que ele acredita que estejam vigentes no vencimento do contrato, esta diferença de preço representa o prêmio pago pelo *hedger* ao especulador para que este assuma o risco da posição comprada. A elevação dos preços *spot*

em relação aos preços futuros sinaliza um prêmio para venda imediata, e pode ser causada por uma redução da oferta em relação à demanda no mercado *spot*. Além disso, preços mais baixos no futuro desencorajam a manutenção de estoques. Nesta situação, o preço futuro estará sistematicamente abaixo do preço à vista esperado e os especuladores somente manterão uma posição líquida comprada, assumindo o risco de oscilação de preços, se houver expectativa de ganho, que é representada pelo aumento dos preços dos contratos futuros⁵ até seu vencimento.

Por outro lado, se os *hedgers* mantiverem posições compradas e os especuladores, posições vendidas, o preço futuro ficará acima do valor futuro esperado para o preço a vista, esta situação foi denominada *contango*. Em caso de aumento nos preços, o aumento nos custos de aquisição do produto será compensado pelo lucro da posição comprada no mercado futuro; já no caso de uma queda nos preços, a redução nos custos será compensada pela perda na posição comprada.

Os especuladores manterão uma posição líquida vendida e sua expectativa de ganho é representada pela queda dos preços dos contratos futuros até seu vencimento⁶. Isto ocorre, pois os especuladores exigem um prêmio pelo risco que estão assumindo, e só realizarão negócios se houver expectativa de que o preço futuro cairá ao se aproximar de seu

⁵ Os contratos futuros podem ser divididos em dois tipos de contratos: contratos *forward* e contratos futuros. Os contratos *forward* são celebrados diretamente entre as partes envolvidas, e envolvem uma única saída de caixa contra o recebimento do ativo no vencimento do contrato. Já os contratos futuros são padronizados e negociados em bolsas de valores como a NYMEX (*New York Mercantile Exchange*) e requerem marcação a mercado, ou seja, a cada dia é realizada uma liquidação parcial do contrato com base na variação do preço do dia contra o preço do dia anterior, as bolsas ainda exigem de compradores e vendedores o depósito de margens.

⁶ Na grande maioria dos contratos *forward* e futuros, não ocorre a entrega física do produto, nestes casos a posição do investidor é encerrada antes do vencimento ou transferida para o vencimento seguinte. Isto se deve ao fato de que a maioria dos agentes neste mercado atua com o objetivo de proteção (*hedge*) ou especulação.

vencimento. No mercado em *contango*, existirá um número maior de *hedgers* comprados (*long hedgers*) do que vendidos (*short hedgers*) e no mercado em *backwardation* ocorrerá o inverso.

A relação entre preços à vista e preços futuros para uma *commodity* estocável assumindo a inexistência de arbitragem pode ser descrita da seguinte forma:

$$F^T(t) = S(t) e^{(r-y)(T-t)} \quad (1)$$

Onde $F^T(t)$ é o preço futuro com vencimento em T, $S(t)$ é o preço a vista, r corresponde aos juros vigentes em t , em regime de capitalização contínua e y o benefício pela manutenção de estoques ou *convenience yield*. Decompondo o *convenience yield* em: $y = y_I - C$, onde y_I é o benefício pela manutenção de estoque físico e C é o custo de estocagem ou carregamento, podemos re-escrever a equação acima como:

$$F^T(t) = S(t) e^{(r+c-y_I)(T-t)} \quad (2)$$

O preço futuro corresponde ao preço spot acrescido de juros e custos de estocagem descontado o *convenience yield*. Esta relação nos sugere que em “condições normais” o preço futuro será superior ao preço spot devido aos juros e ao custo de carregamento. Como então explicar um mercado em *backwardation*, onde o preço futuro é inferior ao preço *spot*? A resposta encontra-se no *convenience yield*; pois caso o benefício pela manutenção dos estoques seja superior ao custo de carregamento e juros o mercado estará em *backwardation*.

Quando $(r - y)$ é negativo, a curva futura é uma função decrescente da maturidade, neste caso $(r + c < y_I)$ o que significa que os juros e os custos de estocagem são inferiores aos benefícios pela manutenção de estoques, situação conhecida como *backwardation*. Caso contrário, quando $(r - y)$ é positivo, a curva futura é uma função crescente da maturidade, neste caso $(r + c > y_I)$ o que significa que os juros e os custos de estocagem são superiores aos benefícios pela manutenção de estoques⁷, situação conhecida como *contango*. Supondo regime de capitalização composta podemos descrever a dinâmica entre preços a vista e preços futuros como:

$$F^T(t) = S(t) [1 + r(T - t) + c(T - t) - y_I(T - t)] \quad (3)$$

Onde $r(T - t)$ é custo do financiamento para compra de $S(t)$, $c(T - t)$ representa o custo de estocagem durante (t, T) e $y_I(T - t)$ é o benefício pela manutenção do estoques. Esta relação indica que se o preço futuro $F^T(t)$ for superior ao lado direito da equação acima (mercado em *contango*), seria vantajosa a seguinte operação de arbitragem conhecida como *cash and carry*: compra no mercado *spot*, venda de contrato futuro, financiamento da compra da *commodity*, pagamento dos custos de estocagem e apropriação do benefício pela manutenção dos estoques pelo período (t, T) .

⁷ O benefício pela manutenção de estoques ou *convenience yield* reflete as expectativas do mercado quanto à disponibilidade futura da *commodity*, e é inversamente relacionado com o nível de estoques. Quanto maior a probabilidade de ocorrência de escassez durante a vigência de um contrato futuro, maior será o *convenience yield* (mercado em *backwardation*). Em caso da existência de estoques elevados e, portanto, uma baixa probabilidade de escassez, o *convenience yield* tenderá a ser reduzido.

No mercado em *backwardation* a operação contrária, *reverse cash and carry* seria possível; neste caso a operação implica na venda no mercado spot, compra de contrato futuro, e investimento dos recursos à taxa livre de risco. Como a dinâmica do mercado é baseada em expectativas dos agentes em relação ao re-estabelecimento do equilíbrio entre oferta e demanda, os preços para entrega imediata (*spot*) podem exceder preços para entrega futura, quando os estoques encontram-se em níveis baixos ou o mercado antecipa que são insuficientes para atender a demanda no curto prazo, neste caso temos um mercado em *backwardation*. Por outro lado, se os estoques são elevados e a probabilidade de falta de produto é baixa, os preços futuros excedem os preços a vista, neste caso o mercado apresenta uma situação de *contango*.

Litzemberg e Rabinowitz (1995) observaram que o mercado futuro de petróleo encontrava-se em *backwardation* em mais de 70% do tempo, explicaram este fato utilizando a teoria de opções. Em sua explicação, a propriedade de reservas de petróleo pode ser interpretada como a posse de uma opção de compra cujo preço de exercício corresponde ao custo de extração, existindo um *trade-off* entre o exercício da opção, representada pela produção, e o não exercício da opção, representada pela manutenção das reservas inexploradas.

Se os preços futuros descontados a valores presentes forem superiores aos preços à vista, mercado em *contango*, a escolha racional dos produtores será a postergação da produção, e a manutenção das reservas inexploradas. Então, um mercado em *backwardation* é condição necessária para que exista incentivo à produção.

De acordo com Pindyck (2001) os mercados futuros de petróleo devem apresentar algum grau de *backwardation*, caso isto não ocorra, os produtores não teriam incentivo para a extração do petróleo. Sendo assim, quanto mais voláteis forem os choques na oferta e na demanda, mais alto deve ser o preço à vista em relação ao preço futuro, a fim de vencer a preferência pela manutenção do petróleo no subsolo e induzir a sua extração.

Outra explicação para a predominância de um mercado em *backwardation* está no relacionamento entre o nível de estoques e volatilidade. Devido ao elevado custo de manutenção de estoques, a maioria das empresas tem reduzido seus níveis, de forma que a capacidade de reação das empresas a aumentos repentinos na demanda tem sido reduzida, aumentando a inelasticidade da oferta no curto prazo. Assim a teoria dos estoques prediz que a ocorrência de *backwardation* é mais provável quando o nível de estoques é baixo.

Utilizando dados do *Commodity Futures Trading Commission* (CFTC)⁸, mostramos o resumo das posições líquidas dos participantes *commercials* e *non-commercials* no mercado futuro de petróleo, em um período de 264 meses, que vai de janeiro de 1986 a dezembro de 2007. De maneira geral, os *commercials* são considerados como *hedgers* e os *non-commercials* como especuladores.

⁸ A classificação dos participantes do mercado de acordo com a CFTC é a seguinte: *commercials* onde estão incluídos os *hedgers* e os *non-commercials* onde estão incluídos os fundos de investimento. Ainda existe a categoria de “*non reportable positions*”, que inclui posições tanto de *commercials* como de *non-commercials*, que estão abaixo dos limites estabelecidos pelo CFTC para reporte de posições. Neste grupo podem estar incluídos tanto pequenos *hedgers* como especuladores.

Tabela 1: Posição Líquida Mercado Futuro de Petróleo WTI - *Commercials* e

Non-Commercials. Período: Janeiro/1986 a Dezembro/2007

Nesta tabela é mostrado um resumo das posições líquidas compradas e vendidas no mercado futuro para *commercials*, onde estão incluídos os *hedgers* e *non-commercials* onde estão incluídos os fundos de investimento. O período de análise é de 264 meses e vai de janeiro de 1986 a dezembro de 2007.

	Posição Líquida Comprada	Posição Líquida Vendida
<i>Commercials</i>	45,8%	54,2%
<i>Non-Commercials</i>	52,7%	47,3%

Fonte: *Commodity Futures Trading Comission (CTFC)*

Podemos observar que os *commercials* mantiveram uma posição líquida predominantemente vendida em 54,2% dos meses e que os *non-commercials* mantiveram uma posição líquida predominantemente comprada em 52,7% dos meses. Estes resultados são consistentes com a hipótese de Keynes (1930). Na próxima seção apresentaremos os resultados dos testes de quebra estrutural e recursos recursivos, que foram utilizados na determinação dos sub-períodos para a realização dos testes com os modelos de volatilidade condicional.

4.3 TESTES DE QUEBRA ESTRUTURAL E DE RESÍDUOS RECURSIVOS

Eventos como choques na oferta ou demanda podem causar instabilidade ou quebras estruturais nas séries de preços do petróleo. Um dos problemas na verificação da existência de quebras estruturais está na determinação dos períodos em que ocorreram tais quebras. No caso da impossibilidade de determinação a priori destes períodos foram desenvolvidos métodos para diagnosticar a instabilidade nos parâmetros que não necessitam conhecimento prévio de potenciais pontos de quebra estrutural; entre estes está o teste de resíduos recursivos. Já no caso de existirem candidatos a pontos de quebra estrutural podemos utilizar o teste de Chow.

A fim de testar a existência de quebras estruturais realizaremos o teste de Chow. Realizamos o teste de Chow escolhendo como potenciais pontos de quebra estrutural, eventos importantes tanto para o mercado de petróleo (redução da produção da OPEP) como para a economia mundial (atentado terrorista de 11 de setembro de 2001). Os resultados indicam que nos anos de 1990, 1999, 2001 e 2003 existe a possibilidade da existência de quebras estruturais, ou seja, foram constatadas diferenças estruturais antes e depois destes anos.

Tabela 2: Resultado Teste de Chow

Nesta tabela são mostrados potenciais pontos de quebra estrutural que correspondem a eventos de grande importância para o mercado de petróleo, quando houve grande variação nos preços. Estes pontos foram utilizados na determinação dos sub-períodos onde foram realizados os testes de Chow. A hipótese nula do teste de Chow é a da inexistência de quebra estrutural. No caso dos testes realizados a hipótese nula somente é aceita para o ano de 1986; para os demais anos rejeitamos a hipótese nula, o que é indicativo da existência de possíveis quebras estruturais.

Teste de Quebra Estrutural							
Período	Ponto de Quebra	Evento	Mês	Variação Preços	Sub-Períodos	F-Stat	Prob
1985- 2007	1986	Arabia Sudita abandona papel de "swing producer"	Fevereiro	-39,7 %	1985-1986 1987-2007	0.054	0.817
1985- 2007	1990	Guerra do Golfo	Agosto	+37,7 %	1985-1990 1991-2007	22.283	0.000
1985- 2007	1999	Redução produção OPEP: 2,1 milhões barris/dia	Março	+20,0 %	1985-1999 2000-2007	196.875	0.000
1985- 2007	2001	Atentado terrorista: 11 de setembro nos EUA	Setembro	-15,7% (*)	1985-2001 2002-2007	297.738	0.000
1985- 2007	2003	Guerra do Iraque	Março	-16,4 % (*)	1985-2003 2004-2007	613.603	0.000

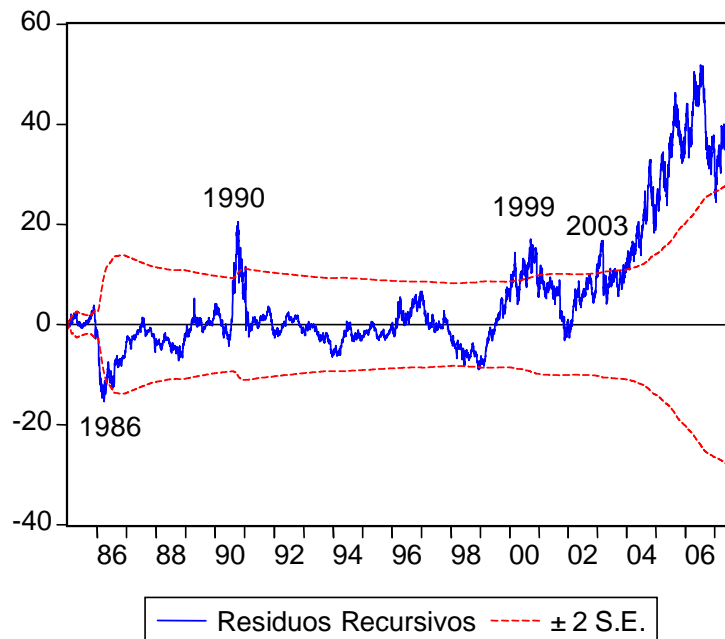
(*) Variação dos preços no mês seguinte ao evento

No caso do teste de resíduos recursivos, inicialmente estima-se o modelo com uma amostra pequena e progressivamente é adicionada uma observação, o modelo é então re-estimado; este procedimento é repetido até o final da amostra. Se o modelo contém K parâmetros, o modelo é inicialmente estimado com K observações, em seguida o modelo é estimado com $K+1$ observações até o final da amostra. Ao final deste procedimento será obtido um conjunto de estimativas recursivas dos parâmetros. A cada t , $t=k, \dots, T-1$, pode-se computar a projeção 1 período à frente, e os resíduos recursivos. A análise dos resíduos recursivos pode indicar instabilidade nos parâmetros do modelo. Podemos interpretar a seqüência de resíduos recursivos como uma seqüência de erros de previsão um período à frente.

Realizamos o teste de resíduos recursivos⁹ e os resultados mostrados no gráfico abaixo indicam a presença de instabilidade nos anos de 1986, 1990, 1999 e 2003.

Fig.2: Teste Resíduos Recursivos

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007



Os testes de Chow e de resíduos recursivos apresentam resultados coincidentes apenas para os anos de 1990, 1999 e 2003 ainda utilizaremos variáveis *dummy* para os *break points* potenciais observados em cada um destes anos. Baseados nos resultados obtidos, escolheremos os seguintes sub-períodos para a realização dos testes com os modelos de volatilidade condicional: sub-período 1: 1985-1990, sub-período 2: 1991-1999, sub-período 3: 2000-2003, sub-período 4: 2004-2007. O ano de 2003 é o único real candidato a ponto de quebra estrutural, tendo em vista que ao contrário dos demais anos, a partir deste ano não há um retorno ao padrão anterior.

⁹ O pontos de quebra (*outlayers*) indicam a presença de instabilidade.

4.4 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS

O histograma dos preços para todo o período em análise de 1985 a 2007, indica que a distribuição de probabilidade dos preços do petróleo (*proxy* WTI) não é normal, o que é confirmado pelo teste Jarque-Bera, onde a hipótese nula de normalidade é rejeitada. O coeficiente de assimetria é de 1,74 quando uma distribuição normal possuiu assimetria zero, este resultado indica uma distribuição assimétrica. Em caso de assimetria à direita o coeficiente é positivo e na assimetria à esquerda o coeficiente é negativo. Podemos concluir que a distribuição dos preços do petróleo WTI é assimétrica à direita.

A curtose da série dos preços é de 5,15 enquanto uma distribuição normal possui um coeficiente de 3, indicando que a distribuição dos preços do petróleo WTI é leptocúrtica, fato conhecido como caudas pesadas; este tipo de distribuição é comum em séries financeiras, sendo caracterizado pela presença de valores extremos. Isto significa que as variações nos preços do petróleo são maiores e mais frequentes do que seria esperado se seguissem uma distribuição normal.

Tabela 3: Análise Descritiva Preços Petróleo WTI

	1985-2007	1985-1990	1991-1999	2000-2003	2004-2007
Média	27.23	20.36	19.17	28.35	56.86
Mediana	21.26	19.07	19.35	28.54	59.17
Máximo	80.57	40.42	32.00	37.83	80.57
Mínimo	10.42	10.42	10.72	17.45	32.48
Desvio Padrão	14.79	5.52	3.13	3.84	11.77
Assimetria	1.74	0.92	-0.12	-0.45	-0.33
Curtose	5.15	3.41	3.22	3.40	2.15
Jarque-Bera	3,987.14	221.48	10.04	40.25	45.40
Probabilidade	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Observações	5,692	1,507	2,261	996	928

O histograma dos retornos¹⁰ para todo o período em análise de 1985 a 2007, indica que a distribuição de probabilidade é não normal, como confirma o teste de Jarque-Bera, onde a hipótese nula de normalidade é rejeitada. A ausência de normalidade é caracterizada pela curtose e assimetria. A curtose da série dos retornos é de 21,06 enquanto uma distribuição normal possui um coeficiente de 3. Estes valores indicam uma distribuição leptocúrtica.

Tabela 4: Análise Descritiva Retornos Petróleo WTI

	1985-2007	1985-1990	1991-1999	2000-2003	2004-2007
Média	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mediana	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Máximo	0.14	0.14	0.14	0.08	0.07
Mínimo	-0.40	-0.17	-0.40	-0.17	-0.08
Desvio Padrão	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02
Assimetria	-1.11	-0.53	-2.37	-0.74	-0.04
Curtose	21.07	9.52	52.02	6.46	3.34
Jarque-Bera	78,570.38	2,734.70	228,514.50	586.91	4.83
Probabilidade	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
Observações	5,691	1,506	2,261	996	928

O coeficiente de assimetria é de -1,11 enquanto uma distribuição normal possuiu assimetria zero, este resultado indica falta de simetria. Podemos concluir que a distribuição dos retornos é assimétrica à esquerda, a assimetria negativa implica um maior risco de queda nos preços (*downside risk*), o que significa que em termos de *Value-at-Risk* as perdas no mercado de petróleo podem ser elevadas.

¹⁰ O retorno pode ser definido como a diferença dos logaritmos dos preços: $r_t = \ln (P_t / P_{t-1}) = p_t - p_{t-1}$. Onde $p_t = \ln P_t$; é o logaritmo natural de P_t .

Realizamos testes específicos para verificar a existência de raiz unitária na série de preços e de retornos (resultados no anexo). O teste de raiz unitária tem como objetivo verificar se a série é estacionária ou não. Estacionariedade implica que choques aleatórios ou inovações, tendam a se dissipar e não produzam efeitos permanentes na evolução das séries; sendo assim se assume uma variância constante, ou seja, independente do tempo. No caso de séries não estacionárias choques aleatórios produzem efeitos permanentes.

Para a série do logaritmo do WTI os testes de *Augmented Dickey-Fuller*, *Phillips-Peron* e *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin*, indicam a presença de raiz unitária. No caso da série de variações de preço em logaritmo do petróleo WTI (os retornos), os testes indicam a inexistência de raiz unitária, podemos concluir que a série de preços é integrada de ordem 1 ou $I(1)$, pois ao ser diferenciada 1 vez tornou-se estacionária. A pouca evidência da existência de estacionariedade nos preços do petróleo é contra intuitiva em termos econômicos, pois na medida em que este é formado majoritariamente pela interação entre as forças de oferta e demanda, deveria estar estreitamente relacionado com seus fundamentos e apresentar reversão ao custo marginal no longo prazo; desta forma a subida indefinida dos preços do petróleo não teria sentido econômico. Como então, interpretar os resultados dos testes de raiz unitária que indicam a presença de não-estacionariedade para os preços do petróleo?

De acordo com Pindyck¹¹ (1999), os testes padrão para presença de raiz unitária tendem a rejeitar a existência de estacionariedade para os preços do petróleo em amostras de curto e médio prazo. Porém, quando utilizadas séries de longo prazo, com cem anos ou mais,

¹¹ Pindyck analisa uma série de logaritmos dos preços do petróleo, (descontada a inflação) com 126 anos (1870-1996), e constata a existência de reversão a uma tendência quadrática, com um tempo de reversão a tendência superior a uma década. Conclui que a tendência quadrática no longo prazo é consistente com a teoria dos recursos exauríveis, na medida em que implica em flutuações tanto no nível dos preços como na própria tendência, que ocorrem em resposta a flutuações na demanda, nos custos de extração e nas reservas.

podemos aceitar a hipótese de estacionariedade, o que é indicativo de reversão à média no longo prazo. Pindyck conclui que para uma meia vida¹² de cinco anos, é necessária uma série de preços superior a 120 anos para que a hipótese da existência de raiz unitária seja rejeitada a um nível de significância de 5%.

O baixo poder dos testes de raiz unitária na distinção entre um processo estacionário e um não estacionário em séries relativamente longas como a utilizada neste trabalho (23 anos), é um indicativo de que o processo de reversão à média é bastante lento, que os testes de raiz unitária têm baixa potência e de que o processo de reversão à média exerce pouca influência nos preços no curto e médio prazo.

Em termos práticos, podemos assumir que os preços do petróleo são não-estacionários no curto e médio prazo (30 - 40 anos) podendo ser descritos por um processo estocástico como o movimento geométrico browniano (MGB)¹³, e no longo prazo (acima de 100 anos) por um processo de reversão a média.

Por meio da análise dos correlogramas podemos testar o pressuposto de independência dos preços, dos retornos e do quadrado dos retornos. Os correlogramas apresentam as funções de autocorrelação (AC) e autocorrelação parcial (PAC), estas funções caracterizam o padrão

¹² Representa o tempo que uma variável estocástica leva para percorrer a metade do caminho entre seu valor corrente e a média de longo prazo.

¹³ A descrição do MGB pode ser modificada a fim de incorporar a reversão à média, neste caso o MGB é descrito pela seguinte equação: $dP_t/P_t = k(P_\infty - P_t)dt + \sigma P_t dz_t$ onde: P_∞ representa a média de longo prazo para os preços P_t e k a velocidade de reversão a média de longo prazo. O lado esquerdo da equação representa a mudança instantânea nos preços, o primeiro termo $k(P_\infty - P_t)$ é a tendência ou *drift* do processo, que é positiva quando os preços estão abaixo da média de longo prazo P_∞ e negativa quando estão acima. Neste processo, também conhecido como *Ornstein-Uhlenbeck*, assume-se que os preços em média evoluem na direção de sua média de longo prazo.

da dependência temporal das séries. Séries de tempo na maioria das vezes são temporalmente correlacionadas, isto é, elas são correlacionadas com as suas próprias defasagens. O correlograma dos retornos, que mostra a dinâmica da média, apresenta autocorrelações pequenas entre 0,055 e 0,001 alternando valores positivos e negativos, o que é indicativo de um componente ARMA. A hipótese de ruído branco é rejeitada e os resultados indicam a existência de uma estrutura de dependência temporal não linear. Porém é impossível identificar que estrutura de dependência temporal não linear pode caracterizar a dependência dos retornos. A presença de agrupamentos de volatilidade pode ser estatisticamente confirmada pela existência de autocorrelação no quadrado dos retornos.

O correlograma do quadrado dos retornos do petróleo WTI mostra que as autocorrelações são todas positivas e superiores as autocorrelações encontradas para os retornos variando entre 0,155 e 0,032 , o que indica de que a variância condicional apresenta dependência temporal em relação aos choques passados. A estatística Q de Ljung-Box aponta para a rejeição da hipótese de independência para os quadrados dos retornos em todos os 12 lags observados. As autocorrelações são positivas demonstrando forte persistência, o que confirma a existência de autocorrelação na variância. A magnitude da autocorrelação na série do quadrado dos retornos é maior do que na série dos retornos e podemos concluir que a dinâmica está concentrada na volatilidade e não na média. Utilizaremos como *proxy* para volatilidade o quadrado dos retornos, esta *proxy* será utilizada para comparação do desempenho dos modelos de volatilidade condicional.

A fim de confirmar a presença de heterocedasticidade¹⁴ nos retornos realizaremos o teste de Multiplicadores de Lagrange ou teste ARCH-LM. Os resultados dos testes ARCH-LM (F-estatístico 95,73 e probabilidade 0,0000) indicam a presença de heterocedasticidade (efeitos ARCH) nos resíduos da regressão dos retornos do petróleo WTI spot. Portanto, podemos aceitar a hipótese de que a variância dos resíduos não é constante, ou seja, é heterocedástica. Estes resultados reforçam a necessidade da utilização de modelos de volatilidade condicional no cálculo da volatilidade.

A existência de dependência na série do quadrado dos retornos indica que o processo gerador dos retornos não é independente e identicamente distribuído (*I.I.D.*). Uma explicação para a dependência na série do quadrado dos retornos está nos agrupamentos de volatilidade que permitem que a volatilidade possua alguma previsibilidade, o que, porém, não implica que a direção (sinal) dos retornos possa ser prevista.

A identificação dos fatos estilizados é importante na construção de modelos estatísticos corretamente especificados. Por meio dos testes constatamos na série de retornos do petróleo WTI a presença dos fatos estilizados característicos das séries de retornos de ativos financeiros. Podemos citar a distribuição não normal dos retornos, a virtual inexistência de correlação entre os retornos e a existência de correlação positiva e significativa para o quadrado dos retornos.

¹⁴ A variância condicional constante é conhecida como homocedasticidade e implica que para uma regressão a variância do erro não observável u condicional nas variáveis explicativas é constante, e pode ser expressa por: $Var(u_t/x) = Var(u_t) = \sigma^2$, $t = 0, 1, \dots, n$. Caso a hipótese de homocedasticidade seja violada, o modelo exibe heterocedasticidade. Neste caso \mathcal{E}_t não pode mais ser definido como um Ruído Branco Gaussiano, pois sua variância não é mais constante/ homocedástica.

5 ANÁLISE EMPÍRICA DA VOLATILIDADE CONDICIONAL DOS RETORNOS DOS PREÇOS DO PETRÓLEO

5.1 ESPECIFICAÇÃO DO MODELO

Utilizaremos o modelo GARCH, que é amplamente utilizado na estimativa da volatilidade condicional. Como exemplos de sua utilização na estimativa da volatilidade condicional para os preços do petróleo podemos citar: Day e Lewis (1993), Duffie e Gay (1995), Pyndyck (2004), Aiube e Tara (2006).

O primeiro passo na estimação dos modelos de volatilidade condicional consiste na especificação para a equação da média condicional do retorno e da variância condicional do retorno. A equação da média condicional pode ser especificada como um processo ARMA (p,q). Para a série de retornos dos preços do petróleo WTI consideramos como especificação para a equação da média condicional um processo AR(3) e excluímos a primeira defasagem pois o coeficiente não se mostrou estatisticamente significativo. Realizamos uma simulação para a equação da média condicional, modelada como um processo ARMA (1,1), porém o correlograma dos resíduos e o resultado do teste *Breusch-Godfrey* indicou a existência de correlação serial nos resíduos. Já para especificação adotada, AR (3) o teste de *Breusch-Godfrey* confirmou a inexistência de correlação serial nos resíduos.

A fim de testar a especificação da equação da média, investigamos o correlograma dos resíduos padronizados da regressão da média condicional, com a exclusão da primeira defasagem. Não encontramos evidência de autocorrelação, já que a hipótese nula de inexistência de autocorrelação serial foi aceita, o que indica que modelo autoregressivo de

terceira ordem para a média condicional é suficiente para capturar a autocorrelação da série de retornos. A análise do correlograma do quadrado dos resíduos da regressão da média condicional indica a existência de autocorrelação em todos os 12 lags, pois a hipótese nula de inexistência de autocorrelação serial é rejeitada. O teste ARCH-LM confirma a existência de heterocedasticidade condicional também conhecida como efeitos ARCH. Podemos concluir que existe a necessidade de modelagem da variância condicional.

Para a equação da variância condicional utilizaremos os critérios de informação *Akaike* e *Schwarz*, assim como a função de verossimilhança para selecionar a estrutura de defasagens mais adequada. Com relação à distribuição condicional de probabilidade dos resíduos, utilizaremos na especificação dos modelos as três distribuições de probabilidade usualmente utilizadas na especificação de modelos GARCH¹⁵, são elas: distribuição Normal ou Gaussiana, distribuição de t de *Student* e a distribuição *Generalized Error Distribution* (GED). Seguem os resultados das análises das especificações para a equação da variância condicional:

¹⁵ Os modelos da família ARCH possuem como premissa uma distribuição condicional normal para os retornos. Os retornos dos preços do petróleo, porém, não possuem uma distribuição normal, como observado pelo excesso de curtose, o que pode fazer com que os modelos não proporcionem uma descrição satisfatória do processo gerador da série de retornos. Uma solução para o problema da elevada curtose é a adoção de distribuições condicionais com caudas mais “pesadas” do que a distribuição normal como às distribuições de *Student* e *Generalized Error Distribution* (GED).

Tabela 5: Critérios de Escolha Modelos de Volatilidade Condicional GARCH -

Distribuição Normal. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Nesta tabela são mostrados os testes realizados na especificação da equação da variância condicional dos retornos utilizando o modelo GARCH e distribuição Normal. Na determinação do número de defasagens foram utilizados os critérios de informação de *Akaike* e *Schwarz*, assim como a função de verossimilhança. Foram selecionados os modelos que apresentaram menores valores para os critérios de informação.

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	GARCH(1,1)	Normal	13940.14	-4.899488	-4.892477	0.300000	0.276819
ARMA(3,0)	GARCH(1,2)	Normal	13947.11	-4.901584	-4.893405	0.568000	0.571803
ARMA(3,0)	GARCH(1,3)	Normal	13947.12	-4.901239	-4.891891	0.597000	0.600805
ARMA(3,0)	GARCH(2,1)	Normal	13944.97	-4.900833	-4.892654	0.263000	0.263957
ARMA(3,0)	GARCH(2,2)	Normal	13947.13	-4.901242	-4.891894	0.610000	0.613814
ARMA(3,0)	GARCH(2,3)	Normal	13951.53	-4.902438	-4.891922	0.359000	0.335768
ARMA(3,0)	GARCH(3,1)	Normal	13945.02	-4.900500	-4.891153	0.257000	0.256672
ARMA(3,0)	GARCH(3,2)	Normal	13947.51	-4.901023	-4.890507	0.569000	0.570854
ARMA(3,0)	GARCH(3,3)	Normal	13950.50	-4.901721	-4.890037	0.825000	0.830666

OBS: GARCH (p,q) onde p representa a ordem do termo ARCH e q a ordem do termo GARCH

Tabela 6: Critérios de Escolha Modelos de Volatilidade Condicional GARCH -

Distribuição t de *Student*. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Nesta tabela são mostrados os testes realizados na especificação da equação da variância condicional dos retornos utilizando o modelo GARCH e distribuição de t de *Student*. Na determinação do número de defasagens foram utilizados os critérios de informação de *Akaike* e *Schwarz*, assim como a função de verossimilhança. Foram selecionados os modelos que apresentaram menores valores para os critérios de informação.

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	GARCH(1,1)	T-Stud	14118.70	-4.961918	-4.953739	0.02200	0.02143
ARMA(3,0)	GARCH(1,2)	T-Stud	14119.23	-4.961754	-4.952406	0.07700	0.08186
ARMA(3,0)	GARCH(1,3)	T-Stud	14119.50	-4.961497	-4.950981	0.03100	0.02617
ARMA(3,0)	GARCH(2,1)	T-Stud	14119.23	-4.961755	-4.952408	0.06400	0.06424
ARMA(3,0)	GARCH(2,2)	T-Stud	14119.58	-4.961525	-4.951009	0.09300	0.10143
ARMA(3,0)	GARCH(2,3)	T-Stud	14121.28	-4.961773	-4.950089	0.19000	0.16376
ARMA(3,0)	GARCH(3,1)	T-Stud	14119.47	-4.961488	-4.950972	0.06900	0.06443
ARMA(3,0)	GARCH(3,2)	T-Stud	14119.60	-4.961180	-4.949496	0.10100	0.10838
ARMA(3,0)	GARCH(3,3)	T-Stud	14122.68	-4.961914	-4.949061	0.03200	0.03295

Tabela 7: Critérios de Escolha Modelos de Volatilidade Condicional GARCH -

Distribuição GED. Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Nesta tabela são mostrados os testes realizados na especificação da equação da variância condicional dos retornos utilizando o modelo GARCH e distribuição GED. Na determinação do número de defasagens foram utilizados os critérios de informação de *Akaike* e *Schwarz*, assim como a função de verossimilhança. Foram selecionados os modelos que apresentaram menores valores para os critérios de informação.

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	GARCH(1,1)	GED	14097.58	-4.954494	-4.946315	0.08300	0.07659
ARMA(3,0)	GARCH(1,2)	GED	14099.67	-4.954879	-4.945531	0.28000	0.29262
ARMA(3,0)	GARCH(1,3)	GED	14098.42	-4.954085	-4.943569	0.08800	0.07297
ARMA(3,0)	GARCH(2,1)	GED	14099.18	-4.954704	-4.945356	0.18500	0.18215
ARMA(3,0)	GARCH(2,2)	GED	14099.84	-4.954586	-4.94407	0.32000	0.33348
ARMA(3,0)	GARCH(2,3)	GED	14101.76	-4.954909	-4.943224	0.27800	0.24605
ARMA(3,0)	GARCH(3,1)	GED	14099.35	-4.954411	-4.943895	0.18400	0.17613
ARMA(3,0)	GARCH(3,2)	GED	14102.30	-4.955098	-4.943414	0.39400	0.36665
ARMA(3,0)	GARCH(3,3)	GED	14104.13	-4.955389	-4.942536	0.47300	0.43422

Tabela 8: Modelos de Volatilidade Condicional GARCH Selecionados

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Nesta tabela são mostradas as especificações da equação da variância condicional dos retornos para o modelo GARCH, com distribuições Normal, t de *Student* e GED, que foram selecionados de acordo com os critérios de informação de *Akaike* e *Schwarz*, e da função de verossimilhança.

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	GARCH(1,2)	Normal	13947.11	-4.901584	-4.893405	0.568	0.571803
ARMA(3,0)	GARCH(1,1)	T-Stud	14118.70	-4.961918	-4.953739	0.022	0.021434
ARMA(3,0)	GARCH(1,1)	GED	14097.58	-4.954494	-4.946315	0.083	0.076592

Os resultados mostram que as especificações mais parcimoniosas são superiores como indicam os critérios de informação *Akaike* e *Schwarz*, confirmando os resultados de estudos que apontam o modelo GARCH com apenas 1 lag, como adequado na modelagem da

variância condicional na maioria dos casos, ver Baillie e Bollerslev (1989) e Bollerslev, Kroner e Chou (1992). A função de verossimilhança indica o modelo ARMA (3,0) GARCH (1,1) com distribuição de *t* de *Student* como o mais adequado, sendo assim esse modelo será estimado nos sub-períodos: 1985-1990, 1991-1999, 2000-2003, 2004-2007, que foram escolhidos de acordo com critérios explicitados na seção 4.3.

Tabela 9: Resultados Modelo de Volatilidade Condicional ARMA (3,0) GARCH (1,1)

O modelo ARMA (3,0) GARCH (1,1) foi testado para os retornos diários do primeiro contrato futuro do petróleo WTI, que foi utilizado como *proxy* para o preço *spot*. O período de análise vai de janeiro de 1985 a setembro de 2007, totalizando 5.691 observações. O modelo GARCH também foi testado para os quatro sub-períodos: 1985-1990, 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007. A equação da média condicional contém o intercepto μ , e os coeficientes Φ_1 e Φ_2 que representam os termos autoregressivos AR(2) e AR(3). Na equação da variância o termo ARCH (α) capta a influência do quadrado dos retornos na variância condicional e o termo GARCH (β) capta a influência da variância condicional dos períodos anteriores. P-valores entre parêntesis.

$$r_t = \ln(P_t / P_{t-1}) = p_t - p_{t-1}$$

$$r_t = \Phi_1 r_{t-2} + \Phi_2 r_{t-3} + \varepsilon_t, \text{ onde } \varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim t\text{-Student}(0, \sigma^2)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Períodos	1985-2007	1985-1990	1991-1999	2000-2003	2004-2007
Equação da Média					
μ	0.00055 (0.01420)	0.00065 (0.08430)	0.00018 (0.59070)	0.00111 (0.12160)	0.00114 (0.07700)
Φ_1	-0.03368 (0.00980)	-0.02432 (0.33190)	-0.05904 (0.00380)	-0.04539 (0.14020)	0.01985 (0.56970)
Φ_2	-0.01943 (0.13240)	-0.00321 (0.89840)	-0.05358 (0.00750)	0.05531 (0.06730)	-0.03963 (0.24060)
Equação da Variância					
ω	0.00000 (0.00000)	0.00000 (0.01710)	0.00001 (0.00050)	0.00002 (0.12870)	0.00001 (0.21580)
α	0.06441 (0.00000)	0.11097 (0.00000)	0.05712 (0.00000)	0.03095 (0.01930)	0.03298 (0.01620)
β	0.93104 (0.00000)	0.89872 (0.00000)	0.92710 (0.00000)	0.94141 (0.00000)	0.94109 (0.00000)
$\alpha + \beta$	0.99545	1.00969	0.98422	0.97236	0.97407
Akaike info criterion	-4.96192	-4.91039	-5.17833	-4.57852	-4.97723
Schwarz criterion	-4.95374	-4.88564	-5.16061	-4.54405	-4.94077
Log likelihood	14,118.7	3,697.2	5,861.1	2,287.1	2,316.4
Durbin-Watson stat	2.00497	2.03213	1.95469	1.96409	2.10086
ARCH-LM lag 5	(0.02143)	(0.03159)	(0.15320)	(0.53081)	(0.13441)

Os resultados das estimativas geradas pelo modelo ARMA (3,0) GARCH (1,1) são mostrados na Tabela 9. A equação da média condicional apresenta coeficientes não estatisticamente significantes para todos os períodos à exceção de 1991-1999. Os termos ARCH (α) e GARCH (β) são positivos e estatisticamente significantes para todos os períodos. A soma dos coeficientes ARCH e GARCH ($\alpha+\beta$) é muito próxima da unidade superando a unidade no segundo período de 1985-1990, o que indica um elevado grau de persistência e uma longa memória da variância condicional. Isso significa que um choque nos preços exercerá impacto por um longo período.

Os testes ARCH-LM não mostram a presença de heterocedasticidade (efeitos ARCH), nos períodos 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007 indicando que o modelo ARMA (3,0) GARCH (1,1) captura bem o comportamento da volatilidade condicional. Já para os períodos 1985-2007 e 1985-1990 o teste ARCH-LM indica a existência de efeitos ARCH, isto pode ocorrer devido à existência de correlação serial de ordem mais elevada nos resíduos ao quadrado para estes períodos.

Os correlogramas dos resíduos ao quadrado não indicam a presença de correlação serial para os períodos 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007, confirmando os resultados do teste ARCH-LM. Porém vale notar que para os períodos 1991-1999 e 2004-2007, ainda existe alguma dinâmica que não foi capturada, pois as probabilidades dos primeiros 5 lags do correlograma indicam um ruído branco, o que não ocorre com os demais, ou seja, ainda existe algum processo não modelado. Os resultados dos testes de diagnóstico mostram que o modelo ARMA (3,0) GARCH (1,1) obteve sucesso na modelagem da estrutura da correlação serial da variância condicional para os períodos 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007.

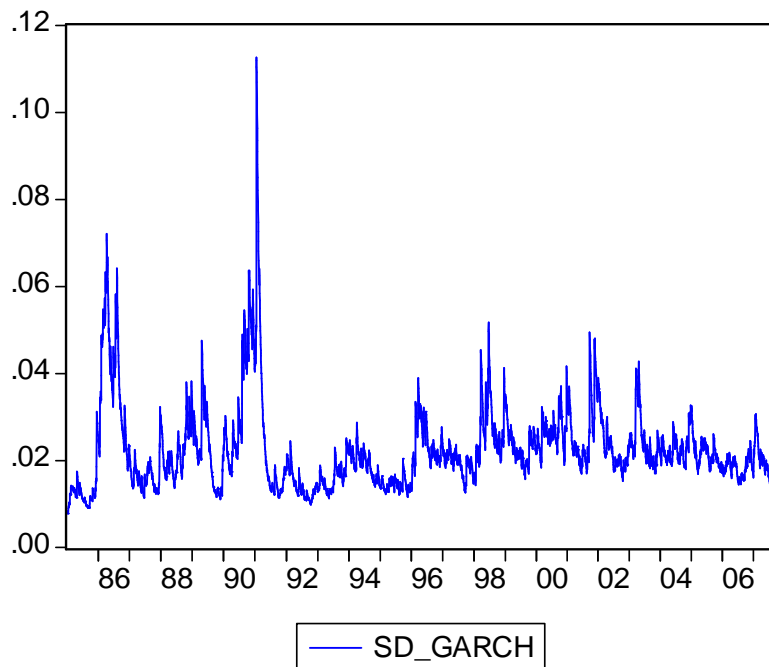
Tabela 10: Resultado Consolidado Modelo Volatilidade Condicional GARCH

Volatilidade Ano

	GARCH
Volatilidade (1985-2007)	38.96%
Volatilidade (1985-1990)	47.26%
Volatilidade (1991-1999)	35.13%
Volatilidade (2000-2003)	40.43%
Volatilidade (2004-2007)	31.97%

Fig.3: Resultado Modelo GARCH de Volatilidade Condicional

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007



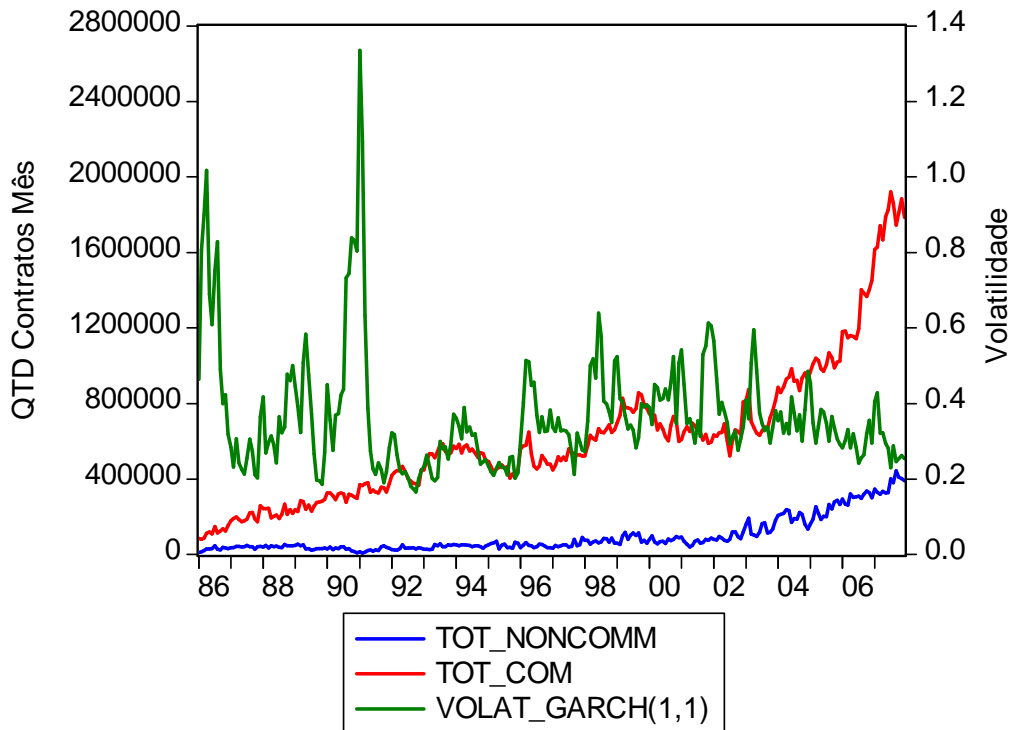
Os resultados indicam que não houve aumento da volatilidade condicional, apesar do aumento no volume transacionado nos mercados futuros. Na realidade, houve uma redução na volatilidade condicional no período entre 2004-2007 quando comparado com o período anterior 2000-2003. O período de maior volatilidade condicional (1985-1990) corresponde ao período onde ocorreram dois eventos significativos são eles: o “contra choque” ocorrido em 1986 e a Guerra do Golfo em 1990. Os coeficientes ARCH e GARCH, próximos da unidade indicam alta persistência na volatilidade condicional. Porém a persistência dos choques caiu ao longo dos sub-períodos, indicando que estes são cada vez mais transitórios.

5.2 EFEITO DO AUMENTO NO VOLUME TRANSACIONADO NO MERCADO FUTURO NA VOLATILIDADE CONDICIONAL

Os resultados obtidos indicam uma redução da volatilidade condicional no período de 2004-2007, apesar do aumento volume transacionado por *commercials* e *non-commercials* nos mercados futuros neste período. Estes resultados são corroborados pelo trabalho de Fleming e Ostdiek (1999) que concluem que não há evidências do aumento da volatilidade condicional no mercado de petróleo WTI após a introdução dos mercados futuros. Fleming e Ostdiek concluíram também, que mercados futuros ativos e líquidos atuam no sentido de redução da volatilidade condicional nos mercados *spot*, contrariando a idéia de que mercados futuros e de derivativos contribuem para o aumento da volatilidade condicional, como podemos observar no gráfico a seguir.

Fig.4: Volatilidade e Quantidade de Contratos NYMEX - *Commercials* e *Non-Commercials*

Período: Janeiro/1986 a Dezembro/2007



De acordo com estudo realizado em 2005 pela *Commodity Futures Trading Commission* (CFTC), os especuladores conhecidos como *hedge funds*, chamados de *managed money traders* (MMTs), não negociam tão ativamente como outros participantes do mercado como os *hedgers*. Os *hedgers* são os causadores das mudanças de posição nos *hedge funds*, que por sua vez fornecem liquidez aos *hedgers*. O estudo conclui que as mudanças nas posições dos *hedge funds* são uma reação às mudanças nos preços, e não sua causa, ou seja, os *hedge funds* reagem as mudanças nos preços alterando suas posições ao invés serem os responsáveis pelas mudanças de preços.

Realizamos o teste de Causalidade de Granger a fim de testar estas afirmações. O resultado do teste indica que são as mudanças na volatilidade condicional que levam a mudanças na posição dos *non-commercial*s e não o inverso. Realizamos ainda uma regressão a fim de testar a relação entre a variação na quantidade total de contratos dos *non-commercial*s e a variação na volatilidade condicional.

Tabela11: Resultado Teste Causalidade de Granger

Período: 1986 a 2007

Teste Causalidade de Granger	
Período: 1986-2007	
Obs: 256	
Hipótese Nula - H0	F-Estatística
DL_TOTNONCOMM não Granger Causa DL_VOL	0.66764 (0.51382)
DL_VOL não Granger Causa DL_TOTNONCOMM	4.27227 (0.01498)

O resultado da regressão da variação na volatilidade condicional e variação na posição *non-commercial*s indica que o efeito da variação da quantidade total de contratos dos *non-commercial*s na variação da volatilidade condicional é estatisticamente significante, porém negativo. Isto significa que um aumento da participação dos *non-commercial*s tem como efeito uma redução na volatilidade condicional, entretanto o poder explicativo desta regressão é muito reduzido dado seu R^2 ser apenas 0,03.

Tabela 12: Volatilidade e Quantidade de Contratos NYMEX - *Commercials* e*Non-Commercials*. Período: 1985 a 2007

Nesta tabela observamos a evolução da volatilidade condicional no período de 1985 a 2007, medida pelos modelos de volatilidade condicional ARCH, GARCH, TARCH e EGARCH assim como por modelos de volatilidade histórica, utilizando médias móveis de 30 dias (Hist 30) e 60 dias (Hist 60). As volatilidades condicional e histórica são comparadas com a quantidade de contratos futuros de petróleo *West Texas Intermediate* (WTI), transacionados na *New York Mercantile Exchange* (NYMEX) por *commercials* onde estão incluídos os *hedgers* e os *non-commercials* onde estão incluídos os fundos de investimento inclusive os *hedge funds*.

Ano	ARCH	GARCH	TGARCH	EGARCH	HIST 30	HIST 60	Qtd Contrat Com	Qtd Contrat Non_Com	% Com	% Non-Com
1985	33.66%	22.07%	22.01%	20.66%	17.11%	14.75%	-	-	-	-
1986	51.43%	67.61%	67.43%	63.67%	67.95%	67.80%	1,395,742	343,857	80%	20%
1987	34.79%	26.51%	26.55%	26.02%	23.72%	24.42%	2,361,061	484,869	83%	17%
1988	38.00%	36.60%	36.67%	35.93%	35.63%	34.14%	2,680,607	522,558	84%	16%
1989	37.82%	37.38%	37.25%	35.84%	36.97%	38.34%	3,151,399	442,678	88%	12%
1990	47.81%	59.10%	59.10%	55.90%	58.51%	54.89%	3,737,360	350,377	91%	9%
1991	45.97%	57.16%	56.58%	48.12%	58.14%	61.07%	4,238,553	307,497	93%	7%
1992	33.55%	23.06%	23.03%	23.02%	20.65%	20.85%	5,006,290	395,858	93%	7%
1993	34.73%	26.35%	26.34%	26.48%	23.93%	23.01%	6,440,715	509,369	93%	7%
1994	35.85%	31.16%	31.17%	31.99%	29.92%	30.36%	6,573,971	555,344	92%	8%
1995	33.61%	22.93%	22.90%	22.90%	20.33%	20.70%	5,397,023	610,587	90%	10%
1996	39.34%	39.98%	40.05%	39.13%	39.04%	38.30%	6,271,621	548,641	92%	8%
1997	35.82%	31.11%	31.05%	31.66%	29.99%	30.37%	6,162,528	628,092	91%	9%
1998	42.13%	46.31%	46.39%	43.27%	45.34%	44.46%	7,576,112	862,000	90%	10%
1999	37.89%	37.74%	37.83%	38.84%	37.21%	37.48%	9,392,914	1,043,790	90%	10%
2000	40.87%	43.15%	43.06%	43.33%	41.98%	42.00%	8,184,463	921,145	90%	10%
2001	41.18%	45.18%	44.95%	43.29%	45.26%	43.25%	7,698,406	825,523	90%	10%
2002	37.74%	37.28%	37.38%	38.21%	36.44%	39.01%	7,727,044	1,105,688	87%	13%
2003	39.31%	40.57%	40.47%	40.93%	39.77%	39.53%	8,644,847	1,659,101	84%	16%
2004	38.28%	36.80%	36.83%	38.22%	35.41%	34.92%	11,018,259	2,391,497	82%	18%
2005	36.78%	34.77%	34.86%	35.63%	34.11%	35.01%	12,153,248	2,748,826	82%	18%
2006	35.52%	29.69%	29.69%	31.59%	28.06%	27.78%	15,175,513	3,648,355	81%	19%
2007	36.29%	32.15%	32.21%	33.09%	30.77%	31.27%	21,273,004	4,412,606	83%	17%

Fonte Quantidade Contratos: CFTC (Commodity Futures Trading Commission)

OBS: Modelos da Família ARCH com 1 lag e Distribuição Normal

Através da comparação entre as participações percentuais de *commercials* e *non-commercials* com o volume total de contratos transacionados também é possível realizar inferências sobre o potencial impacto na volatilidade condicional. Pela análise da Tabela 12 fica evidente que apesar da expressiva participação no volume total de transações dos *non-commercials* de 17% os *commercials* ainda são responsáveis pelo maior volume de

transações, contrariando a idéia bastante difundida de que os maiores participantes nos mercados de derivativos são os especuladores representados pelos *non-commercial*s.

Podemos concluir que não existem evidências de que o aumento do volume transacionado nos mercados futuros de petróleo WTI exerceu efeito no sentido de um aumento na volatilidade condicional; na realidade houve uma redução na volatilidade no período de 2004-2007. O que então explicaria a redução na volatilidade condicional?

A teoria do armazenamento¹⁶ - Kaldor (1939) , Working (1949) e Brennan (1958) - prevê que fundamentalmente as condições de oferta e demanda são os principais determinantes do *convenience yield*¹⁷, do *spread* entre preços a vista e preços futuros conhecido como base e da volatilidade. De acordo com a teoria do armazenamento a base é ampliada devido à queda nos estoques e a variação nos preços das commodities aumenta na medida em que a curva de oferta torna-se menos elástica. Sendo assim, a volatilidade tanto dos preços à vista como dos futuros deve aumentar à medida que os estoques caem e a base aumenta. Isto que sugere que são os fundamentos, ao invés do volume de transações nos mercados futuros, os principais determinantes da volatilidade dos preços.

¹⁶ As implicações da teoria do armazenamento podem ser resumidas em: a volatilidade de uma *commodity* tende a ser inversamente relacionada ao nível de estoques de acordo com Pindyck (2001). Isto ocorre, pois os estoques exercem um efeito amortecedor sobre a variação dos preços, reduzindo o efeito de choques na oferta ou demanda na variação dos preços; a volatilidade se reduz para contratos futuros mais longos refletindo a expectativa de que os desequilíbrios entre oferta e demanda sejam corrigidos no longo prazo, e que o preço de equilíbrio de mercado seja atingido; o que é conhecido como *Samuelson effect* descrito por Samuelson (1965).

¹⁷ A taxa de conveniência ou *convenience yield*, representa o fluxo de benefícios pela posse de estoque físico. Segundo a definição de Brennan e Schwartz (1985): “*convenience yield is the flow of services that accrues to an owner of the physical commodity but not to an owner of a contract for future delivery of the commodity*”. O *convenience yield* pode então ser entendido como o benefício líquido auferido pela manutenção de estoques, que é resultado da redução da probabilidade de interrupção da produção por falta de produto. De acordo com a teoria do armazenamento a manutenção de estoques pelas empresas gera um fluxo de benefícios implícitos, na medida em que estas podem responder de forma mais rápida e eficiente a choques inesperados na oferta ou demanda.

Para Fama e French (1988) e Williams e Wright (1991), o *spread* entre preços à vista e futuros, explica a volatilidade nos mercados de *commodities*, sendo que a volatilidade é maior quando os preços à vista são superiores aos preços futuros (mercado em *backwardation*) e menor quando os preços futuros excedem os preços à vista (mercado em *contango*). Litzenberger e Rabinowitz (1995) também chegam a esta conclusão, desta vez para o mercado de petróleo. Ainda de acordo com os trabalhos de Fama e French (1988) e Victor e Pirrong (1994), uma base negativa (preço futuro < *spot*) está relacionada a uma maior persistência da volatilidade do que uma base positiva (preço futuro > *spot*), e que o *spread* entre os mercados à vista e futuros tendem a crescer em períodos de maior volatilidade, ou seja, o risco de base¹⁸ aumenta em períodos de maior volatilidade.

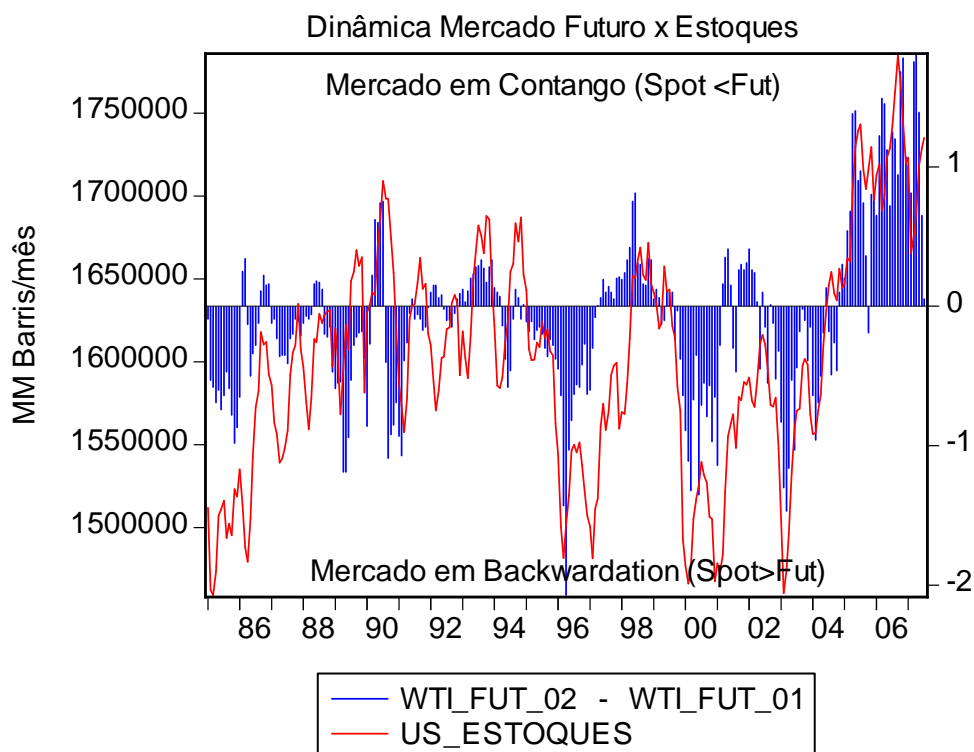
Uma análise do nível de estoques e do mercado futuro nos mostra que a partir de 1995 tem início uma redução dos estoques operacionais das refinarias, lideradas por refinadores americanos. Esta estratégia de redução de custos chamada de gestão de estoques *just in time* (*just-in-time inventory management*), teve como resultado a redução de estoques nas refinarias americanas de 26 dias em 1994 para 21 dias no final de 1995. Em 1996, os baixos estoques e as expectativas em relação ao re-estabelecimento das exportações do Iraque em resposta a resolução 986 da ONU, levaram o mercado futuro a um forte *backwardation*, reforçando ainda mais o movimento de redução de estoques e manutenção de preços spot elevados em relação aos preços futuros.

¹⁸ Quando nos aproximamos do vencimento de um contrato futuro o preço futuro converge para o preço à vista; no vencimento o preço futuro iguala-se ao preço a vista, ou ficará bem próximo. Podemos, então, utilizar os mercados futuros para realizar uma operação de *hedge*. Supondo um *hedger* que possui um ativo e deseja vendê-lo no futuro, uma operação de *hedge* requer uma posição vendida em contratos futuros, porém, esta operação pode implicar em riscos, já que o ativo cujo preço está sendo *hedgado* pode não ser exatamente o mesmo que referencia o contrato futuro; neste caso existe o chamado risco de base. Podemos definir a base como sendo: Base = preço a vista do ativo a ser *hedgado* - preço futuro do contrato utilizado.

Já em 1998 ocorre o contrário. A crise na Ásia causou uma redução na demanda mundial e a conseqüente elevação no nível dos estoques, o que aliado ao aumento de cotas da OPEP no final de 1997, gerou um mercado futuro em *contango*. O mercado em *contango* encorajou ainda mais a acumulação de estoques na medida em que propiciou aos participantes do mercado conhecido como *commercials*, cujo objetivo é a realização de *hedge* para posições no mercado físico, a compra de petróleo à vista e venda de contratos futuros de forma a compensar o custo de manutenção dos estoques (operação chamada de *cash and carry*). A análise do mercado em 1995 e 1998 ilustra a dinâmica entre mercados futuros¹⁹ e estoques.

Fig.5: Dinâmica: Mercado Futuro x Estoques

Período: Janeiro/1985 a Setembro/2007



¹⁹ Como *proxy* para o preço spot utilizamos o primeiro contrato futuro. Sendo assim, o *spread* entre o segundo e o primeiro contratos futuros, será considerado como indicativo de um mercado em *backwardation* ou *contango*.

Tabela 13: Volatilidade x Mercado Futuro

Período: Janeiro/1985 a Setembro/2007

Volatilidade Ano

	GARCH	Mercado Futuro Backwardation(*)	Mercado Futuro Contango
Volatilidade (1985-2007)	38.96%	57.93%	42.07%
Volatilidade (1985-1990)	47.26%	79.17%	20.83%
Volatilidade (1991-1999)	35.13%	51.85%	48.15%
Volatilidade (2000-2003)	40.43%	70.83%	29.17%
Volatilidade (2004-2007)	31.97%	23.26%	76.74%

(*) % do número de meses em relação ao total de meses do período

Observamos que a volatilidade condicional é superior nos períodos em que o mercado futuro encontra-se predominantemente em *backwardation* e inferior em períodos em que o mercado futuro encontra-se predominantemente em *contango*. Estes resultados são consistentes com as hipóteses da teoria do armazenamento. Podemos concluir que o mercado predominantemente em *contango* e a conseqüente acumulação de estoques a partir de 2004, foram fatores determinantes na redução da volatilidade condicional observada neste período.

6 ANÁLISE DE ROBUSTEZ

6.1 ESPECIFICAÇÃO DOS MODELOS

A fim de testar a robustez do modelo GARCH serão realizados outros testes. O modelo de volatilidade condicional ARCH (Engle - 1982) e os modelos TARCH (Zakoian - 1994) e EGARCH (Nelson - 1991), que permitem um efeito assimétrico dos choques na variância condicional, pois assumem que choques positivos e negativos exercem efeitos diversos na volatilidade condicional serão testados. Estes modelos serão posteriormente comparados com o modelo GARCH dentro da amostra e fora da amostra. A especificação destes modelos seguirá os mesmos critérios utilizados na especificação do modelo GARCH. Seguem os resultados da especificação da equação da variância condicional:

Tabela 14: Modelos de Volatilidade Condicional Seleccionados

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Nesta tabela são mostradas as especificações da equação da variância condicional dos retornos para os modelos ARCH, TGARCH e EGARCH que foram seleccionados de acordo com os critérios de informação de *Akaike* e *Schwarz*, e da função de verossimilhança.

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	ARCH(3)	T-Stud	13945.44	-4.90065	-4.89130	0.00000	0.00000
ARMA(3,0)	TGARCH(1,1)	T-Stud	14118.74	-4.96158	-4.95223	0.02200	0.02150
ARMA(3,0)	EGARCH(1,1)	T-Stud	14143.30	-4.97022	-4.96087	0.00000	0.00018

Os resultados demonstram que as especificações mais parcimoniosas são superiores como indicam os critérios de informação *Akaike* e *Schwarz*, confirmando os resultados obtidos para os modelos GARCH. Após a seleção das especificações os modelos escolhidos serão estimados nos sub-períodos: 1985-1990, 1991-1999, 2000-2003, 2004-2007.

Tabela 15: Resultados Modelo de Volatilidade Condicional ARMA (3,0) ARCH (3)

O modelo ARMA (3,0) ARCH (3) foi testado para os retornos diários do primeiro contrato futuro do petróleo WTI, que foi utilizado como *proxy* para o preço *spot*. O período de análise vai de janeiro de 1985 a setembro de 2007, totalizando 5.691 observações. O modelo ARCH também foi testado para os quatro sub-períodos: 1985-1990, 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007. A equação da média condicional contém o intercepto μ , e os coeficientes Φ_1 e Φ_2 que representam os termos autoregressivos AR(2) e AR(3). Na equação da variância os termos ARCH ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) captam a influência do quadrado dos retornos na variância condicional. P-valores entre parêntesis.

$$r_t = \ln(P_t / P_{t-1}) = p_t - p_{t-1}$$

$$r_t = \Phi_1 r_{t-2} + \Phi_2 r_{t-3} + \varepsilon_t, \text{ onde } \varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim t\text{-Student}(0, \sigma^2)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \alpha_3 \varepsilon_{t-3}^2$$

Períodos	1985-2007	1985-1990	1991-1999	2000-2003	2004-2007
Equação da Média					
μ	0.00076 (0.00150)	0.00074 (0.06500)	0.00031 (0.36810)	0.00126 (0.08550)	0.00118 (0.07450)
Φ_1	-0.04588 (0.00070)	-0.04264 (0.09030)	-0.06973 (0.00120)	-0.05219 (0.07500)	0.02407 (0.48040)
Φ_2	-0.02454 (0.06610)	-0.00955 (0.68630)	-0.06254 (0.00330)	0.05445 (0.10330)	-0.03499 (0.30280)
Equação da Variância					
ω	0.00027 (0.00000)	0.00016 (0.00000)	0.00025 (0.00000)	0.00053 (0.00000)	0.00037 (0.00000)
α_1	0.17298 (0.00000)	0.45732 (0.00000)	0.09730 (0.00420)	0.05357 (0.12150)	0.01257 (0.62260)
α_2	0.17895 (0.00000)	0.38394 (0.00000)	0.15167 (0.00000)	0.00202 (0.94300)	0.03835 (0.32150)
α_3	0.22375 (0.00000)	0.36072 (0.00000)	0.19648 (0.00000)	0.12188 (0.01640)	0.03641 (0.37300)
Akaike info criterion	-4.90065	-4.84117	-5.13396	-4.56804	-4.95933
Schwarz criterion	-4.89130	-4.81288	-5.11371	-4.52865	-4.91766
Log likelihood	13,945.4	3,646.1	5,811.9	2,282.9	2,309.1
Durbin-Watson stat	2.00484	2.03283	1.95508	1.96327	2.10030
ARCH-LM lag 5	(0.00000)	(0.21620)	(0.00000)	(0.89842)	(0.07089)

Os parâmetros estimados do modelo ARCH na Tabela 15 para a equação da média condicional mostram que em todos os períodos ao menos um coeficiente não foi estatisticamente significativo. Os coeficientes ARCH (α) para a equação de variância condicional são positivos e significantes ao nível de 1%, para os períodos 1985-2007, 1985-1990, 1991-1999, o que não ocorre para os sub-períodos 2000-2003 e 2004-2007.

O teste ARCH-LM não indica a presença de heterocedasticidade (efeitos ARCH), somente para os períodos 1985-1990 e 2000-2003, tendo em vista que aceitamos a hipótese nula da inexistência de autocorrelação serial nos resíduos. Os correlogramas dos resíduos ao quadrado confirmam os resultados do teste ARCH-LM que não apontam à presença de correlação serial nos períodos 1985-1990 e 2000-2003. Os resultados indicam que o modelo ARMA (3,0) ARCH (3) somente foi aceito para o período 1985-1990, já que os coeficientes são estatisticamente significantes e não existem indícios da presença de heterocedasticidade condicional nos resíduos ao quadrado.

Tabela 16: Resultados Modelo de Volatilidade Condicional ARMA (3,0) TARCH (1,1)

O modelo ARMA (3,0) TARCH (1,1) que permite um efeito assimétrico dos choques na variância condicional, foi testado para os retornos diários do primeiro contrato futuro do petróleo WTI, que foi utilizado como *proxy* para o preço *spot*. O período de análise vai de janeiro de 1985 a setembro de 2007, totalizando 5.691 observações. O modelo TARCH também foi testado para os quatro sub-períodos: 1985-1990, 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007. A equação da média condicional contém o intercepto μ , e os coeficientes Φ_1 e Φ_2 que representam os termos autoregressivos AR(2) e AR(3). Na equação da variância o termo ARCH (α) capta a influência do quadrado dos retornos na variância condicional o termo GARCH (β) capta a influência da variância condicional dos períodos anteriores e o parâmetro γ capta a assimetria. P-valores entre parêntesis.

$$r_t = \ln(P_t / P_{t-1}) = p_t - p_{t-1}$$

$$r_t = \Phi_1 r_{t-2} + \Phi_2 r_{t-3} + \varepsilon_t, \text{ onde } \varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim t\text{-Student}(0, \sigma^2)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \gamma \varepsilon_{t-1}^2 I_{t-1}$$

$$I_{t-1} = 1 \text{ se } (\varepsilon_{t-1} < 0), \text{ ou } 0 \text{ caso contrário}$$

Períodos	1985-2007	1985-1990	1991-1999	2000-2003	2004-2007
Equação da Média					
μ	0.00054 (0.01670)	0.00061 (0.10700)	0.00020 (0.54760)	0.00115 (0.11290)	-0.00047 (0.21740)
Φ_1	-0.03372 (0.00980)	-0.02599 (0.29870)	-0.05917 (0.00370)	-0.04566 (0.13910)	0.02383 (0.47570)
Φ_2	-0.01934 (0.13430)	-0.00282 (0.91060)	-0.05403 (0.00690)	0.05490 (0.06900)	-0.03171 (0.32040)
Equação da Variância					
ω	0.00000 (0.00000)	0.00000 (0.01610)	0.00001 (0.00050)	0.00002 (0.14450)	0.00000 (0.19150)
α	0.06261 (0.00000)	0.09509 (0.00000)	0.06222 (0.00000)	0.04103 (0.10320)	-0.01532 (0.00000)
γ	0.00317 (0.76400)	0.02344 (0.40890)	-0.01057 (0.52160)	-0.01380 (0.60350)	0.03649 (0.00000)
β	0.93115 (0.00000)	0.90154 (0.00000)	0.92733 (0.00000)	0.93960 (0.00000)	0.99991 (0.00000)
$\alpha + \beta$	0.99376	0.99663	0.98955	0.98063	0.98459
Akaike info criterion	-4.96158	-4.90949	-5.17762	-4.57682	-4.98754
Schwarz criterion	-4.95223	-4.88120	-5.15737	-4.53743	-4.94587
Log likelihood	14,118.7	3,697.5	5,861.3	2,287.3	2,322.2
Durbin-Watson stat	2.00498	2.03237	1.95466	1.96390	2.08954
ARCH-LM lag 5	(0.02150)	(0.01469)	(0.10940)	(0.50711)	(0.19238)

No modelo TARARCH, que permite um efeito assimétrico dos choques na variância condicional, o parâmetro que capta a assimetria γ não é estatisticamente significativo em 4 períodos (1985-2007, 1995-1990, 1991-1999 e 2000-2003) dos 5 em análise, sugerindo a inexistência de assimetria. A equação da média condicional estimada mostra que em todos os períodos ao menos um coeficiente não foi estatisticamente significativo. Os termos ARCH (α) e GARCH (β) são positivos e significantes para todos os períodos a exceção do termo ARCH (α) para o período 2000-2003. A soma dos coeficientes ARCH e GARCH ($\alpha+\beta$) é sempre muito próxima de 1, indica que os choques na volatilidade condicional são altamente persistentes.

Os testes ARCH-LM indicam a inexistência de heterocedasticidade nos resíduos padronizados nos períodos 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007. Os correlogramas dos resíduos ao quadrado não indicam a presença de correlação serial para os períodos 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007, confirmando os resultados do teste ARCH-LM. Porém ainda não captamos toda a dinâmica da volatilidade condicional pois nos períodos 1991-1999 e 2004-2007, as probabilidades dos 5 primeiros lags do correlograma indicam um ruído branco, mas as demais ainda apontam a existência de autocorrelação, ou seja, ainda existe uma dinâmica que não foi capturada. Os resultados indicam que o modelo ARMA(3,0) TARARCH(1,1) somente foi aceito para o sub-período 2004-2007, já que os coeficientes são estatisticamente significantes e não existem indícios da presença de heterocedasticidade condicional nos resíduos ao quadrado. Em relação à existência do efeito alavancagem no caso do modelo TARARCH, os resultados não foram conclusivos, já que o parâmetro que capta a assimetria foi estatisticamente significativo apenas no último período 2004-2007.

Tabela 17: Resultados Modelo de Volatilidade Condicional ARMA (3,0) EGARCH (1,1)

O modelo ARMA (3,0) EGARCH (1,1) que permite um efeito assimétrico dos choques na variância condicional, foi testado para os retornos diários do primeiro contrato futuro do petróleo WTI, que foi utilizado como *proxy* para o preço *spot*. O período de análise vai de janeiro de 1985 a setembro de 2007, totalizando 5.691 observações. O modelo EGARCH também foi testado para os quatro sub-períodos: 1985-1990, 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007. A equação da média condicional contém o intercepto μ , e os coeficientes Φ_1 e Φ_2 que representam os termos autoregressivos AR(2) e AR(3). Na equação da variância o termo ARCH (α) capta a influência do quadrado dos retornos na variância condicional o termo GARCH (β) capta a influência da variância condicional dos períodos anteriores e o parâmetro γ capta a assimetria. P-valores entre parêntesis.

$$r_t = \ln(P_t / P_{t-1}) = p_t - p_{t-1}$$

$$r_t = \Phi_1 r_{t-2} + \Phi_2 r_{t-3} + \varepsilon_t, \text{ onde } \varepsilon_t / \Omega_{t-1} \sim t\text{-Student}(0, \sigma^2)$$

$$\text{Ln}(\sigma_t^2) = \omega + \beta \text{Ln}(\sigma_{t-1}^2) + \alpha \left| \varepsilon_{t-1} / \sigma_{t-1} \right| + \gamma (\varepsilon_{t-1} / \sigma_{t-1})$$

Períodos	1985-2007	1985-1990	1991-1999	2000-2003	2004-2007
Equação da Média					
μ	0.00057 (0.01030)	0.00075 (0.04180)	0.00024 (0.47540)	0.00099 (0.17470)	0.00093 (0.15760)
Φ_1	-0.03271 (0.01100)	-0.02983 (0.22720)	-0.05861 (0.00330)	-0.04369 (0.16030)	0.02298 (0.50110)
Φ_2	-0.02341 (0.06650)	-0.00761 (0.76020)	-0.05579 (0.00450)	0.04701 (0.12180)	-0.03292 (0.33780)
Equação da Variância					
ω	-0.18384 (0.00000)	-0.24283 (0.00000)	-0.19619 (0.00000)	-0.30429 (0.07750)	-0.54712 (0.01820)
α	0.13954 (0.00000)	0.22451 (0.00000)	0.11593 (0.00000)	0.09136 (0.01140)	0.06347 (0.07550)
γ	-0.01360 (0.06920)	-0.01719 (0.34310)	-0.00484 (0.66970)	-0.00807 (0.71370)	-0.08210 (0.00280)
β	0.98971 (0.00000)	0.98903 (0.00000)	0.98628 (0.00000)	0.96817 (0.00000)	0.93676 (0.00000)
$\alpha + \beta$	1.12925	1.21354	1.10222	1.05953	1.00023
Akaike info criterion	-4.97022	-4.92023	-5.18569	-4.57892	-4.98497
Schwarz criterion	-4.96087	-4.89194	-5.16544	-4.53953	-4.94330
Log likelihood	14,143.3	3,705.6	5,870.4	2,288.3	2,321.0
Durbin-Watson stat	2.00489	2.03202	1.95456	1.96508	2.10054
ARCH-LM lag 5	(0.00018)	(0.01156)	(0.00708)	(0.53893)	(0.20203)

Para o modelo EGARCH, que permite um efeito assimétrico dos choques na variância condicional, o parâmetro que capta a assimetria γ não é estatisticamente significativo em três períodos (1985-1990, 1991-1999 e 2000-2003) dos 5 em análise. A equação da média condicional apresenta coeficientes não estatisticamente significantes para todos os períodos à exceção de 1991-1999. Os termos ARCH (α) e GARCH (β) são positivos e significantes para todos os períodos. A soma dos coeficientes ARCH e GARCH ($\alpha+\beta$) indica uma persistência superior à unidade, sugerindo um processo integrado. Os testes ARCH-LM indicam a inexistência de heterocedasticidade nos resíduos padronizados para os períodos de 2000-2003 e 2004-2007; já para os períodos de 1985-2007, 1985-1990 e 1991-1999 rejeitamos a hipótese nula da inexistência de autocorrelação serial nos resíduos.

Os correlogramas dos resíduos ao quadrado não indicam a presença de correlação serial para os sub-períodos 2000-2003 e 2004-2007, confirmando os resultados do teste ARCH-LM. Os resultados dos testes mostram que o modelo ARMA(3,0) EGARCH(1,1) somente foi aceito para o sub-período 2004-2007, já que os coeficientes são estatisticamente significantes e não existem indícios da presença de heterocedasticidade condicional nos resíduos ao quadrado. As evidências em relação à existência do efeito alavancagem no caso do modelo EGARCH não são conclusivas. Os resultados ainda sugerem que um modelo I-GARCH possa ser mais adequado. Neste caso os choques na volatilidade condicional possuem persistência infinita.

6.2 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DOS MODELOS DE VOLATILIDADE CONDICIONAL DENTRO DA AMOSTRA E FORA DA AMOSTRA

Nesta seção as estimativas de volatilidade condicional dentro da amostra e fora da amostra derivadas dos modelos da família GARCH serão comparadas com o estimador da volatilidade realizada (*proxy* da volatilidade condicional), que será utilizado como referência. O fato de a variância condicional não poder ser observada tem afetado o desenvolvimento dos modelos de volatilidade condicional dificultando a avaliação e comparação dos diversos modelos. Na avaliação de modelos de volatilidade condicional, a volatilidade realizada geralmente é estimada através do quadrado dos retornos, o que de acordo com Andersen e Bollerslev (1997) leva a um fraco desempenho para estimativas fora da amostra.

A fraca performance dos modelos de variância condicional fora da amostra foi analisada por Andersen e Bollerslev, que chegaram a conclusão de que a utilização de retornos intra-diários (ao invés de inter-diários) na estimativa da variância condicional resultava em previsões superiores fora da amostra. Os resultados indicaram que a fraca performance observada para estimativas fora da amostra de modelos da família GARCH podia ser explicada pelo uso de uma *proxy* pouco adequada para a volatilidade realizada. Neste caso o quadrado dos retornos, apesar de ser um estimador não viesado é inconsistente, pois não é assintoticamente livre de erro, além de ser volátil, já que existência de *outliers* é amplificada quando os retornos são elevados ao quadrado. Como não dispomos de observações dos preços do petróleo WTI com frequência intra-diária, manteremos os quadrados dos retornos como *proxy* da volatilidade condicional para fins de comparação entre os modelos.

Adotaremos as seguintes funções de perda como medidas de desempenho:

- MAE - *Mean Absolute Error* (Erro Absoluto Médio):

$$MAE = \frac{\sum_{t=T+1}^{T+h} |\hat{y}_t - y_t|}{h} \quad (4)$$

- MSE - *Mean Squared Error* (Erro Quadrático Médio):

$$MSE = \frac{\sum_{t=T+1}^{T+h} (\hat{y}_t - y_t)^2}{h} \quad (5)$$

- RMSE - *Root Mean Squared Error* (Raiz do Erro Quadrático Médio):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=T+1}^{T+h} (\hat{y}_t - y_t)^2}{h}} \quad (6)$$

Onde \hat{y} é a série de estimativas ou previsões da variância de um determinado modelo, y é série para a *proxy* da volatilidade condicional e h o número de observações. As medidas de desempenho utilizadas buscam a mensuração de distância entre as estimativas e a variância realizada (*proxy* da volatilidade condicional); quanto menores forem os resultados mais preciso é o modelo. Segue a comparação do desempenho dos modelos de volatilidade condicional selecionados dentro da amostra, também chamada de previsão dentro da amostra, através da utilização das funções de perda descritas acima. Vale notar que um bom desempenho dentro da amostra não garante um bom desempenho fora da amostra.

Tabela 18: Comparação Resultados Modelos de Volatilidade Condicional dentro da amostra

Nesta tabela são mostrados os resultados da comparação de desempenho dos modelos de volatilidade condicional ARCH, EGARCH, GARCH e TARCH dentro da amostra. A comparação foi realizada através da utilização de funções de perda MAE - *Mean Absolute Error* (Erro Absoluto Médio), MSE - *Mean Squared Error* (Erro Quadrático Médio) e RMSE - *Root Mean Squared Error* (Raiz do Erro Quadrático Médio). As funções de perda medem a distância entre as estimativas, representadas pelos resultados dos modelos de volatilidade condicional e um estimador da volatilidade realizada (*proxy* da volatilidade), quanto menor esta distância mais preciso é o modelo. O período de análise vai de janeiro de 1985 a setembro de 2007; as funções de perda também foram calculadas para os quatro sub-períodos: 1985-1990, 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007.

Períodos	1985-2007	1985-1990	1991-1999	2000-2003	2004-2007
MAE - Mean Absolute Error (Erro Absoluto Médio)					
ARCH	0.0000191	0.0003121	-0.0000307	-	-
EGARCH	-0.0000204	-	-	-	-0.0000033
GARCH	0.0000170	0.0001075	-0.0000072	-0.0000111	-0.0000025
TARCH	-	-	-	-	-0.0000132
Modelo Selecionado	GARCH	GARCH	GARCH	GARCH	TARCH
MSE - Mean Squared Error (Erro Quadrático Médio)					
ARCH	0.0000068	0.0000065	0.0000123	-	-
EGARCH	0.0000065	-	-	-	0.0000004
GARCH	0.0000066	0.0000047	0.0000122	0.0000023	0.0000004
TARCH	-	-	-	-	0.0000004
Modelo Selecionado	EGARCH	GARCH	GARCH	GARCH	TARCH
RMSE - Root Mean Squared Error (Raiz do Erro Quadrático Médio)					
ARCH	0.0026081	0.0025574	0.0035015	-	-
EGARCH	0.0025590	-	-	-	0.0006147
GARCH	0.0025784	0.0021744	0.0034973	0.0015290	0.0006177
TARCH	-	-	-	-	0.0006127
Modelo Selecionado	EGARCH	GARCH	GARCH	GARCH	TARCH

Na análise dentro da amostra o modelo ARMA(3,0) GARCH (1,1) com distribuição *t de Student* foi superior em um maior número de períodos, pois apresentou erros de previsão inferiores aos demais modelos. Os resultados do modelo selecionado dentro da amostra, o modelo ARMA (3,0) GARCH (1,1), indicam uma volatilidade condicional dos retornos bastante persistente, pois a soma dos coeficientes ARCH e GARCH ($\alpha+\beta$) para o período de 2004-2007 é de 0,97407, o que implica em uma meia vida²⁰ de 27 dias para a volatilidade condicional. Vale notar que a persistência caiu em relação ao período de 1991-1999 onde soma dos coeficientes ARCH e GARCH ($\alpha+\beta$) foi de 0,98422 o que representa uma meia vida de 44 dias para a volatilidade condicional.

Apesar da elevada persistência, a volatilidade condicional dos retornos reverte à sua média incondicional, já que a soma dos termos ARCH e GARCH é inferior à unidade. A reversão à média da volatilidade condicional pode ser interpretada como indicativo da existência de um nível “normal” para a qual esta converge. Isto significa que previsões de longo prazo devem convergir para este nível “normal” de volatilidade, porém não existe consenso sobre qual seria este nível ou se ele permanece constante ao longo do tempo.

²⁰ A meia vida, que é uma medida de persistência, mede o período de tempo necessário para que o efeito de um choque na volatilidade diminua até a metade do caminho até a sua média incondicional. A meia vida é definida como: $\lambda = 1 - [\log_2 / \log \gamma]$, onde γ é a soma dos coeficientes ARCH e GARCH ($\alpha+\beta$). Persistência implica que choques na volatilidade hoje influenciarão na previsão da variância por vários períodos no futuro. O alto grau de persistência é uma característica das séries financeiras, que em sua maioria são não estacionárias e caracterizadas como *random walk*.

A média incondicional²¹ da volatilidade do modelo GARCH (1,1) pode ser calculada por meio da razão entre o intercepto da equação da variância e a diferença entre 1 e a soma dos termos ARCH e GARCH, ver Engle e Patton (2001). Para os preços do petróleo a média incondicional da volatilidade no período de 2004-2007 para o modelo GARCH (1,1) é de 31,64% a.a., que é próxima da média incondicional²² da amostra de 31,97% a.a. (Tabela 4). Podemos então esperar que a previsão da volatilidade condicional convirja para a média incondicional da volatilidade à medida que o horizonte de projeção aumenta.

Realizamos a previsão fora da amostra com os resultados mais recentes dos modelos de volatilidade condicional selecionados, ou seja, com os resultados obtidos para o período de 2004-2007. Os resultados da análise fora da amostra apontam o modelo ARMA (3,0) GARCH (1,1) com distribuição *t de Student* como superior em todos os sub-períodos. Os modelos GARCH tem obtido sucesso na modelagem da volatilidade condicional dentro da amostra, porém com relação à previsão de volatilidade condicional fora da amostra as evidências empíricas indicam que a volatilidade implícita obtida a partir de opções fornece previsões superiores quando comparados à previsões obtidas através de modelos de volatilidade histórica e condicional. Granger e Poon (2002) apresentam um resumo do resultado de 66 estudos sobre previsão de volatilidade fora da amostra utilizando diferentes metodologias. Os resultados indicam que a volatilidade implícita é superior a volatilidade histórica e aos modelos da família GARCH, sendo estes dois últimos comparáveis.

²¹ Média incondicional da volatilidade : $\sigma^2 = \omega / (1 - \alpha - \beta)$

²² Para obter a volatilidade anual, a partir de retornos diários, aplica-se a seguinte fórmula: volatilidade anual = $\sigma^2 \times \sqrt{252}$

Tabela 19: Comparação Resultados Modelos de Volatilidade Condicional Fora da Amostra

Nesta tabela são mostrados os resultados da comparação de desempenho dos modelos de volatilidade condicional EGARCH, GARCH e TARCH fora da amostra. A comparação foi realizada através da utilização de funções de perda MAE - *Mean Absolute Error* (Erro Absoluto Médio), MSE - *Mean Squared Error* (Erro Quadrático Médio) e RMSE - *Root Mean Squared Error* (Raiz do Erro Quadrático Médio). As funções de perda medem a distância entre as estimativas, representadas pelos resultados dos modelos de volatilidade condicional e um estimador da volatilidade realizada (*proxy* da volatilidade), quanto menor esta distância mais preciso é o modelo. O período de análise vai de janeiro de 1985 a setembro de 2007; as funções de perda também foram calculadas para os quatro sub-períodos: 1985-1990, 1991-1999, 2000-2003 e 2004-2007.

Períodos	Previsão 20 dias	Previsão 60 dias	Previsão 90 dias
MAE - Mean Absolute Error (Erro Absoluto Médio)			
EGARCH	-0.0000029175	-0.0000078690	-0.0000065151
GARCH	-0.0000020290	-0.0000077412	-0.0000066268
TARCH	-0.0000135967	-0.0000229261	-0.0000251109
Modelo Selecionado	GARCH	GARCH	GARCH
MSE - Mean Squared Error (Erro Quadrático Médio)			
EGARCH	0.0000003715	0.0000003681	0.0000003645
GARCH	0.0000003751	0.0000003718	0.0000003680
TARCH	0.0000003691	0.0000003677	0.0000003642
Modelo Selecionado	GARCH	GARCH	GARCH
RMSE - Root Mean Squared Error (Raiz do Erro Quadrático Médio)			
EGARCH	0.0006094882	0.0006067412	0.0006037067
GARCH	0.0006124556	0.0006097749	0.0006066604
TARCH	0.0006075748	0.0006063609	0.0006035261
Modelo Selecionado	GARCH	GARCH	GARCH

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho, procuramos verificar se houve aumento na volatilidade condicional dos preços do petróleo, em função do aumento no volume transacionado nos mercados futuros. A fim de estimar a volatilidade condicional utilizamos o modelo ARMA (3,0) GARCH (1,1) com distribuição *t de student*, cuja especificação foi obtida através de critérios de informação *Akaike* e *Schwarz*, testes ARCH-LM e função de verossimilhança.

Os resultados dos modelos indicaram que apesar dos aumentos nos volumes transacionados nos mercados futuros, não houve aumento da volatilidade condicional. Na realidade, houve uma redução na volatilidade condicional no período entre 2004-2007. Houve também uma queda na persistência dos choques, indicando que estes são cada vez mais transitórios. Finalmente os resultados em relação à hipótese de existência de assimetria na volatilidade condicional para os preços do petróleo não foram conclusivos. Os resultados encontrados são consistentes como os resultados obtidos por Aiube e Tara (2006), que também não encontraram evidências de aumento na volatilidade condicional.

Este modelo foi comparado como os modelos de volatilidade condicional ARCH, GARCH, TARARCH e EGARCH, sendo superior em um maior número de períodos, pelo fato de apresentar erros de previsão inferiores aos demais modelos tanto dentro da amostra como fora da amostra. Utilizamos como *proxy* para o preço spot as cotações diárias do primeiro contato futuro do petróleo *West Texas Intermediate* (WTI).

Os níveis de preços atuais não refletem uma maior volatilidade, mas sim um novo patamar de preços. Na realidade, uma vez alcançado um novo patamar de US\$ 56 que corresponde à média para o período 2004-2007 contra uma média de US\$ 28 para o período 2000-2003, houve uma redução da volatilidade, que pode indicar uma acomodação de expectativas em torno deste novo patamar. Porém, isso não assegura a manutenção destes níveis de volatilidade tendo em vista que o atual equilíbrio é extremamente frágil.

Como contribuição deste trabalho para literatura existente no Brasil, podemos citar: a análise detalhada das características estatísticas das séries de preços e de retornos, que confirmou a presença na série do petróleo WTI de fatos estilizados comuns a séries financeiras; a determinação da especificação dos modelos de volatilidade condicional e dos sub-períodos em que foram realizadas as simulações através da realização de testes específicos; a comparação do desempenho dos diversos modelos de volatilidade condicional através da utilização de funções de perda, tanto dentro da amostra como fora da amostra.

Em relação a sugestões para pesquisas futuras podemos citar a análise do efeito na volatilidade condicional de outras variáveis além das analisadas neste trabalho - quantidade de contratos futuros e mercado futuro em *backwardation* ou *contango* - ou a utilização de variáveis *dummys* nos modelos a fim de que estes incorporem efeitos de eventos específicos, assim como a utilização de séries temporais de alta frequência com dados intra-diários, de forma a aprimorar a estimativa da *proxy* para variância como recomendado por Bollerslev e Andersen (1997). Ainda podemos citar como sugestão a análise de modelos de volatilidade estocástica e de volatilidade implícita em opções.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRANGI, B. ; CHATRAH, A. ; DHANDA, K.K and RAFFIEE, K. Chaos in oil prices? Evidence from futures markets. *Energy Economics*, v. 23, p. 405-425, 2001.

AIUBE, Fernando Antonio Lucena ; BAIDYA, Tara Keshar Nanda. Analysis of the behavior of volatility in crude oil prices. *VI Brazilian Finance Conference*, 2006.

BALABAN, Ercan. Comparative forecasting performance of symmetric and asymmetric conditional volatility models of an exchange rate. *Economics Letters*, n. 83, p. 99–105, 2004.

BLACK, Fischer. The pricing of commodity contracts. *Journal of Financial Economics*, v. 3, p. 167-179, 1976.

BOLLERSLEV, Tim. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, v. 31, p. 307-327, 1986.

BOLLERSLEV, Tim. ; ANDERSEN, Torben G. Answering the Critics: Yes, ARCH models do provide good volatility forecasts. *N.B.E.R.*, 1997.

BOLLERSLEV, Tim. ; KRONER, Kenneth, F. ; CHOU, Ray, Y. ARCH modeling in finance. A review of the theory and empirical evidence. *Journal of Econometrics*, v. 52, p. 5-59, 1992.

BRADFORD De Long ; SHLEIFER Andrei ; SUMMERS Lawrence H. and WALDMANN Robert J. Positive Feedback Investment Strategies and Destabilizing Rational Speculation. *Journal of Finance* 45(2), pp. 379-395,1990.

BRENNAN, D. The supply of storage. *American Economic Review*, v. 48, p. 50-72, 1958.

BRITISH PETROLEUM. Statistical Review of World Energy 2008. Disponível em [http://www.bp.com/ Statistical Review of World Energy 2008](http://www.bp.com/StatisticalReviewofWorldEnergy2008).

YANGA, C.W. ; HWANGB, M.J. ; HUANGC B.N. An analysis of factors affecting price volatility of the US oil market. *Energy Economics*, v. 24, p. 107-119, 2002.

DAY, T.E. ; LEWIS, C.M. Forecasting futures markets volatility. *Journal of Derivatives*, v. 1, p. 33-50, 1993.

DUFFIE, D. Futures Markets. Englewood Cliffs, 1989.

DUFFIE, D. ; GRAY, S. Volatility in energy prices. In: Managing Energy Price Risk. Risk Publications, p. 39-55, 1995.

EIA, ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Oil Market Basics*. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov>>

EIA, ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Petroleum Chronology of Events 1970 - 2000*. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov>>

EIA, ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Derivatives and Risk Management in the Petroleum, Natural Gas, and Electricity Industries*. Disponível em: <<http://www.eia.doe.gov>>

ENDERS, Walter. *Applied Econometric Time Series*. New York: John Wiley and Sons, 1995.

ENGLE, Robert. F. Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, v. 50, p. 987-1008, 1982.

ENGLE, Robert. F. ; PATTON, Andrew. J. What good is a volatility model? *Department of Finance, NYU Stern School of Business and Department of Economics, University of California, San Diego*, 2001.

FAMA, E.F. ; FRENCH, K.R. Commodity futures prices: some evidence on forecast power, premiums, and the theory of storage. *Journal of Business*, v. 60, p. 55-73, 1987.

FAMA, E.F. ; FRENCH, K.R. Business cycles and the behavior of metal prices. *Journal of Finance*, v. 43, p. 1075-1093, 1988.

FLEMING, Jeff. ; OSTDIEK, Barbara. The impact of energy derivatives on the crude oil market. *Energy Economics*, v. 21, p. 135-167, 1999.

FRIEDMAN, Milton. The Case for Flexible Exchange Rates. *Essays in Positive Economics*, Univ Chicago: Chicago Press, 1953.

GARBADE, K.D. ; SILBER, W.L. Price movement and price discovery in futures and cash markets. *Review of Economics and Statistics*, v. 65, p. 289-297, 1983.

GRANGER, Clive W.J. ; POON, Ser-Huang. Forecasting Volatility in Financial Markets: A Review. *Social Science Research Network*, September , 2002.

HANSEN, Peter Reinhard ; LUNDE, Asger. Consistent ranking of volatility models. *Journal of Econometrics*, v. 131, p. 97-121, 2006.

HULL, John. Options, Futures and other Derivatives. Pearson Prentice Hall, 6th Edition, 2005.

KALDOR, N. Speculation and economic stability. *Review of Economic Studies*, v.7, p. 1-27, 1939.

KNIGHT, JOHN. ; SATCHELL, STEPHEN. Forecasting Volatility in the Financial Markets. Elsevier, 2007.

KOLB, Robert. Is normal backwardation normal? *The journal of Futures Markets*, v. 12, n. 1, p. 75-91, 1992.

LITZENBERGER, R. ; RABINOWITZ, N. Backwardation in oil futures markets: theory and empirical evidence. *Journal of Finance*, v. 50, p. 1517-1545, 1995.

LOPEZ, Jose A. Evaluating the predictive accuracy of volatility models. *Economic Research Department Federal Reserve Bank of San Francisco*, 1999.

HAIGH, Michael S. ; HRANAIOVA, Jana. ; OVERDAHL, JAMES A. Price dynamics, price discovery and large futures trader interactions in the energy complex. *U.S. Commodity Futures Trading Commission (CFTC)*, Working Paper, April 2005.

NELSON, Daniel B. Conditional heterocedasticity in asset returns: A new approach. *Econometrica*, v. 59, p. 347-370, 1991.

NYMEX. A Review of recent hedge fund participation in Nymex natural gas and crude oil futures markets. *New York Mercantile Exchange*, March, 2005.

PINDYCK, Robert S. The dynamics of commodity spot and futures markets: a primer. *The Energy Journal*, v. 22, p. 1-29, 2001.

PINDYCK, Robert S. The long run evolution of energy prices. *The Energy Journal*, v. 20, n. 2, 1999.

PINDYCK, Robert S. Volatility and commodity price dynamics. *M.I.T. Center for Energy and Environmental Policy Research*, Working Paper, August 2002.

PINDYCK, Robert S. Volatility in natural gas and oil markets. *Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02142*, 2004.

PLOURDE, Andre. ; WATKINS, G.C. Crude oil prices between 1985 and 1994: how volatile in relation to other commodities? *Resource and Energy Economics*. v. 20, p. 245–262, 1998.

ROUTLEDGE, B.R. ; SEPPI, D.J. ; SPATT, C.S. Equilibrium forward curves for commodities. *The Journal of Finance*, v. 55, p. 1297-1338, 2000.

SCHWARTZ, Eduardo S. The stochastic behavior of commodity prices: implications for valuation and hedging. *The Journal of Finance*, v. 52, p. 923-973, 1997.

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

TIMOTHY, J. ; Brailsford, A. ; ROBERT, W.B. An evaluation of volatility forecasting techniques. *Journal of Banking & Finance*, v. 20, p. 419-438, 1996.

TSAY, RUEY S. Analysis of Financial Time Series. John Wiley & Sons, 2005.

U.S. Department of Energy. Petroleum 1996: Issues and Trends. DOE/EIA-0616, September, 1997.

VICTOR, K. NG. ; PIRRONG, Stephen Craig. Price dynamics in refined petroleum spot and futures markets. *Journal of Empirical Finance*, p. 359-388, 1996.

VICTOR, K. NG. ; PIRRONG, Stephen Craig. Fundamentals and volatility: storage, spreads and the dynamics of metals prices. *Journal of Business*, v. 67, p. 203-230, 1994.

WEINER, Robert J. Do Birds of a Feather Flock Together? Speculator Herding in the World Oil Market. *George Washington University - Department of International Business*, September 2004.

WILLIAMS, J. ; WRIGHT, B. Storage and Commodity Markets. *Cambridge University Press*, 1991.

WORKING, H. Theory of the Price of Storage. *American Economic Review*, v. 39, p. 1254-62, 1949.

ZAKOIAN, J.M. Threshold Heteroskedastic Models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 18, p. 931-944, 1994.

9 ANEXOS

DESCRIÇÃO DO MODELO: GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSKEDASTICITY (GARCH)

O Modelo GARCH, proposto por Bollerslev (1986) é uma generalização do modelo ARCH, pois permite que a variância condicional corrente σ_t^2 dependa não somente do quadrado dos retornos passados ε_{t-1}^2 , mas também da própria variância condicional dos períodos anteriores σ_{t-1}^2 . O modelo GARCH é simétrico, pois assume que choques positivos ($\varepsilon_t > 0$) e negativos ($\varepsilon_t < 0$) exerçam o mesmo efeito na variância condicional, o modelo GARCH (1,1) pode ser descrito da seguinte forma:

$$r_t = p_t - p_{t-1} = \mu + \varepsilon_t, \text{ onde: } p_t = \ln P_t \text{ e } \varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim N(\mu, \sigma_t^2) \quad (27)$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (28)$$

onde r_t é o retorno e σ_t^2 representa a variância, em função da variância do período anterior σ_{t-1}^2 , e dos quadrados das inovações dos retornos ε_{t-1}^2 . A distribuição dos retornos condicional aos retornos anteriores é normal com média μ e variância condicional σ_t^2 .

A persistência da volatilidade dos choques é dada por $(\alpha + \beta)$, se esta for superior a unidade a persistência dos choques será caracterizada pela existência de uma raiz unitária, Engle e Bollerslev (1986) descrevem este caso como GARCH integrado ou IGARCH. Para garantir que a variância condicional seja finita e que os choques não terão efeitos permanentes, existindo um processo de reversão a volatilidade não condicional devemos ter $(\alpha + \beta) < 1$. Para garantir que a variância condicional seja positiva são impostas restrições quanto aos sinais dos coeficientes: $\omega > 0$, $\alpha > 0$ e $\beta > 0$.

O modelo GARCH consegue captar de maneira eficiente as aglomerações de volatilidade e ao incorporar a variância condicional do período anterior, reduz o número de parâmetros requeridos, sendo assim é mais parcimonioso que o modelo ARCH. A estimação dos parâmetros dos modelos de volatilidade condicional é realizada a partir da maximização da função de verossimilhança.

TABELAS:

As tabelas a seguir apresentam os testes de robustez realizados na especificação da equação da variância condicional dos retornos utilizando os modelos ARCH, TARCH, EGARCH, com distribuições Normal, *Student* e GED. Na determinação do número de defasagens foram utilizados os critérios de informação de Akaike e Schwarz, assim como a função de verossimilhança. Foram selecionados os modelos que apresentaram menores valores para os critérios de informação.

Tabela 1

Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional ARCH

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	ARCH(1)	Normal	13455.85	-4.729553	-4.723711	0.000000	0.000000
ARMA(3,0)	ARCH(2)	Normal	13558.05	-4.765139	-4.758128	0.000000	0.000000
ARMA(3,0)	ARCH(3)	Normal	13707.48	-4.817327	-4.809148	0.000000	0.000007
ARMA(3,0)	ARCH(1)	T-Stud	13828.03	-4.860066	-4.853056	0.000000	0.000000
ARMA(3,0)	ARCH(2)	T-Stud	13883.32	-4.879156	-4.870977	0.000000	0.000000
ARMA(3,0)	ARCH(3)	T-Stud	13945.44	-4.900648	-4.891300	0.000000	0.000002
ARMA(3,0)	ARCH(1)	GED	13804.41	-4.851761	-4.844751	0.000000	0.000000
ARMA(3,0)	ARCH(2)	GED	13862.02	-4.871666	-4.863487	0.000000	0.000000
ARMA(3,0)	ARCH(3)	GED	13934.00	-4.896623	-4.887276	0.000000	0.000003

Tabela 2

Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional TARCH - Distribuição Normal

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	TGARCH(1,1)	Normal	13940.51	-4.899264	-4.891085	0.30600	0.28247
ARMA(3,0)	TGARCH(1,2)	Normal	13947.12	-4.901237	-4.891890	0.56700	0.57103
ARMA(3,0)	TGARCH(1,3)	Normal	13947.14	-4.900893	-4.890377	0.60000	0.60358
ARMA(3,0)	TGARCH(2,1)	Normal	13945.08	-4.900522	-4.891174	0.25800	0.25892
ARMA(3,0)	TGARCH(2,2)	Normal	13947.14	-4.900894	-4.890378	0.60800	0.61177
ARMA(3,0)	TGARCH(2,3)	Normal	13953.77	-4.902872	-4.891187	0.50000	0.49115
ARMA(3,0)	TGARCH(3,1)	Normal	13945.14	-4.900188	-4.889672	0.25200	0.25200
ARMA(3,0)	TGARCH(3,2)	Normal	13947.51	-4.900672	-4.888987	0.57000	0.57099
ARMA(3,0)	TGARCH(3,3)	Normal	13950.02	-4.901201	-4.888348	0.31000	0.28614

Tabela 3

Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional TARCH - Distribuição *Student*

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	TGARCH(1,1)	T-Stud	14118.74	-4.961582	-4.952234	0.02200	0.02150
ARMA(3,0)	TGARCH(1,2)	T-Stud	14119.33	-4.961437	-4.950921	0.08600	0.09123
ARMA(3,0)	TGARCH(1,3)	T-Stud	14119.61	-4.961183	-4.949499	0.03300	0.02815
ARMA(3,0)	TGARCH(2,1)	T-Stud	14119.28	-4.961420	-4.950904	0.06700	0.06640
ARMA(3,0)	TGARCH(2,2)	T-Stud	14119.88	-4.961281	-4.949597	0.08400	0.09106
ARMA(3,0)	TGARCH(2,3)	T-Stud	14120.44	-4.961127	-4.948274	0.10300	0.09030
ARMA(3,0)	TGARCH(3,1)	T-Stud	14119.52	-4.961155	-4.94947	0.07200	0.06674
ARMA(3,0)	TGARCH(3,2)	T-Stud	14119.97	-4.960962	-4.948109	0.07800	0.08016
ARMA(3,0)	TGARCH(3,3)	T-Stud	14122.51	-4.961501	-4.947479	0.01500	0.01493

Tabela 4

Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional TARCH - Distribuição GED

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	TGARCH(1,1)	GED	14097.59	-4.954147	-4.944799	0.08300	0.07693
ARMA(3,0)	TGARCH(1,2)	GED	14099.69	-4.954534	-4.944018	0.28300	0.29536
ARMA(3,0)	TGARCH(1,3)	GED	14098.42	-4.953733	-4.942049	0.08800	0.07284
ARMA(3,0)	TGARCH(2,1)	GED	14099.18	-4.954353	-4.943837	0.73800	0.18146
ARMA(3,0)	TGARCH(2,2)	GED	14099.89	-4.95425	-4.942565	0.32200	0.33520
ARMA(3,0)	TGARCH(2,3)	GED	14101.44	-4.954446	-4.941593	0.32100	0.29517
ARMA(3,0)	TGARCH(3,1)	GED	14099.35	-4.95406	-4.942375	0.18400	0.17567
ARMA(3,0)	TGARCH(3,2)	GED	14102.10	-4.954675	-4.941822	0.36600	0.34167
ARMA(3,0)	TGARCH(3,3)	GED	14102.95	-4.954624	-4.940603	0.67700	0.67059

Tabela 5

Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional EGARCH - Distribuição Normal

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	EGARCH(1,1)	Normal	13954.82	-4.904297	-4.896117	0.02900	0.02496
ARMA(3,0)	EGARCH(1,2)	Normal	13965.74	-4.907784	-4.898437	0.08500	0.09491
ARMA(3,0)	EGARCH(1,3)	Normal	13965.94	-4.907504	-4.896988	0.11700	0.13061
ARMA(3,0)	EGARCH(2,1)	Normal	13961.52	-4.906301	-4.896953	0.03000	0.03063
ARMA(3,0)	EGARCH(2,2)	Normal	13966.26	-4.907617	-4.897101	0.14900	0.16438
ARMA(3,0)	EGARCH(2,3)	Normal	13967.97	-4.907865	-4.896181	0.06600	0.07402
ARMA(3,0)	EGARCH(3,1)	Normal	13961.54	-4.905955	-4.895439	0.03000	0.03062
ARMA(3,0)	EGARCH(3,2)	Normal	13967.48	-4.907692	-4.896007	0.10600	0.11335
ARMA(3,0)	EGARCH(3,3)	Normal	13968.35	-4.907649	-4.894796	0.20700	0.22776

Tabela 6

Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional EGARCH -

Distribuição Student

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	EGARCH(1,1)	T-Stud	14143.30	-4.970217	-4.96087	0.00000	0.00018
ARMA(3,0)	EGARCH(1,2)	T-Stud	14144.32	-4.970224	-4.959708	0.00100	0.00146
ARMA(3,0)	EGARCH(1,3)	T-Stud	14144.43	-4.96991	-4.958226	0.00100	0.00134
ARMA(3,0)	EGARCH(2,1)	T-Stud	14144.08	-4.970140	-4.959624	0.00100	0.00114
ARMA(3,0)	EGARCH(2,2)	T-Stud	14145.57	-4.970313	-4.958629	0.00000	0.00071
ARMA(3,0)	EGARCH(2,3)	T-Stud	14145.19	-4.969826	-4.956973	0.00800	0.00731
ARMA(3,0)	EGARCH(3,1)	T-Stud	14144.39	-4.969898	-4.958213	0.00100	0.00138
ARMA(3,0)	EGARCH(3,2)	T-Stud	14145.91	-4.970081	-4.957228	0.00100	0.00108
ARMA(3,0)	EGARCH(3,3)	T-Stud	14146.94	-4.970091	-4.95607	0.00200	0.00330

Tabela 7

Critérios de Escolha: Modelos de Volatilidade Condicional EGARCH - Distribuição GED

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Eq. Média	Eq. Variância	Distribuição	Log Likelihood	Akaike Inf Criterion (BIC)	Schwarz Inf Criterion (SIC)	Ljung-Box Prob lag 5	ARCH-LM Test lag 5
ARMA(3,0)	EGARCH(1,1)	GED	14115.47	-4.960432	-4.951084	0.00200	0.00176
ARMA(3,0)	EGARCH(1,2)	GED	14118.5	-4.961148	-4.950632	0.01200	0.01558
ARMA(3,0)	EGARCH(1,3)	GED	14118.69	-4.96086	-4.949176	0.01400	0.01909
ARMA(3,0)	EGARCH(2,1)	GED	14117.65	-4.960848	-4.950332	0.00800	0.00875
ARMA(3,0)	EGARCH(2,2)	GED	14119.15	-4.961022	-4.949338	0.01500	0.01911
ARMA(3,0)	EGARCH(2,3)	GED	14119.96	-4.960956	-4.948103	0.00900	0.01149
ARMA(3,0)	EGARCH(3,1)	GED	14117.86	-4.96057	-4.948885	0.00900	0.00922
ARMA(3,0)	EGARCH(3,2)	GED	14119.68	-4.960857	-4.948004	0.01400	0.01697
ARMA(3,0)	EGARCH(3,3)	GED	14122.83	-4.961615	-4.947594	0.00600	0.00781

As tabelas a seguir apresentam os testes de raiz unitária na série de preços e de retornos. Para a série do logaritmo do WTI os testes de *Augmented Dickey-Fuller*, *Phillips-Peron* e *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin*, indicam a presença de raiz unitária. No caso da série de variações de preço em logaritmo do petróleo WTI (os retornos), os testes indicam a inexistência de raiz unitária.

Tabela 8

Resultados: Testes de Raiz Unitária: *Augmented Dickey-Fuller (ADF)*

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Augmented Dickey-Fuller (ADF)					
Exogenous: Constant					
LFUT_01	t-Statistic	Prob	DLFUT_01	t-Statistic	Prob
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.907051	0.7866	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-47.069220	0.0001
1%	-3.431320		1%	-3.431320	
5%	-2.861853		5%	-2.861853	
10%	-2.566979		10%	-2.566979	
Exogenous: Constant, Linear Trend					
LFUT_01	t-Statistic	Prob	DLFUT_01	t-Statistic	Prob
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-2.445723	0.3556	Augmented Dickey-Fuller test statistic	-47.090010	0.0000
1%	-3.959650		1%	-3.959650	
5%	-3.410594		5%	-3.410594	
10%	-3.127073		10%	-3.127073	
Null Hypothesis: LFUT_01 has a unit root					

Tabela 9

Resultados: Testes de Raiz Unitária: *Phillips-Peron(PP)*

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Phillips-Perron					
Exogenous: Constant					
LFUT_01	t-Statistic	Prob	DLFUT_01	t-Statistic	Prob
Phillips-Perron test statistic	-0.926272	0.7804	Phillips-Perron test statistic	-75.918510	0.0001
1%	-3.431319		1%	-3.431319	
5%	-2.861853		5%	-2.861853	
10%	-2.566979		10%	-2.566979	
Exogenous: Constant, Linear Trend					
LFUT_01	t-Statistic	Prob	DLFUT_01	t-Statistic	Prob
Phillips-Perron test statistic	-2.501701	0.3273	Phillips-Perron test statistic	-75.975790	0.0001
1%	-3.959649		1%	-3.959650	
5%	-3.410594		5%	-3.410594	
10%	-3.127072		10%	-3.127072	
Null Hypothesis: LFUT_01 has a unit root					

Tabela 10

Resultados: Testes de Raiz Unitária: *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS)*

Período: 02/01/1985 a 17/09/2007

Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin			
Exogenous: Constant			
LFUT_01	t-Statistic	DLFUT_01	t-Statistic
Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic	5.201845	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic	0.183824
1%	0.739000	1%	0.739000
5%	0.463000	5%	0.463000
10%	0.347000	10%	0.347000
Exogenous: Constant, Linear Trend			
LFUT_01	t-Statistic	DLFUT_01	t-Statistic
Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic	1.447077	Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic	0.018862
1%	0.216000	1%	0.216000
5%	0.146000	5%	0.146000
10%	0.119000	10%	0.119000

Null Hypothesis: LFUT_01 is stationary

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)