

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO WAVELETS NA
ANÁLISE DA VOLATILIDADE DOS PREÇOS DO
PETRÓLEO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Alexander Souza Block

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO WAVELETS NA ANÁLISE DA VOLATILIDADE DOS PREÇOS DO PETRÓLEO.

Alexander Souza Block

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Administração, Linha de Pesquisa: Economia, Controle e Finanças, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para a obtenção do grau de **Mestre em Administração.**

Orientador: Prof. Dr. Daniel Arruda Coronel

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Block, Alexander Souza
A utilização do método wavelets na análise da
volatilidade dos preços do petróleo / Alexander Souza
Block.-2013.
68 p.; 30cm

Orientador: Daniel Arruda Coronel
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Sociais e Humanas, Programa de
Pós-Graduação em Administração, RS, 2013

1. Decomposição em frequências 2. Transmissão da
volatilidade 3. Quebras estruturais 4. Petróleo I.
Coronel, Daniel Arruda II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Alexander Souza Block. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: block.as@outlook.com

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Dissertação de Mestrado.**

**A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO WAVELETS NA ANÁLISE DA
VOLATILIDADE DOS PREÇOS DO PETRÓLEO.**

elaborado por
Alexander Souza Block

como requisito para obtenção do grau de
Mestre em Administração

COMISSÃO EXAMINADORA:

Daniel Arruda Coronel, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Anderson Denardim, Prof. Dr. (UFSM)

Reisoli Bender Filho, Prof. Dr. (UFSM)

Santa Maria, 27 de novembro de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço e dedico este trabalho à Prof. Dra. Marina Prigol, a quem com orgulho chamo de minha namorada, que vem me apoiando e me inspirando ao longo de sete anos. Não tenho a menor dúvida de que conheci o mundo acadêmico através de você e inspirado por sua determinação que decidi me dedicar ao mestrado. Sem seu exemplo e influência jamais teria iniciado esta empreitada e tão pouco teria a disciplina necessária para concluí-la.

À minha família que sempre colocou minha formação em primeiro lugar, em especial minha mãe Stella, por ter me apoiado e me fornecido todos os subsídios, e muitas vezes mais do o necessário, para que eu concluísse esta etapa. Sem o incentivo e a dedicação de todos vocês creio que não teria conseguido.

Ao meu orientador Prof. Dr. Daniel Arruda Coronel, pela oportunidade e por sempre ter me permitido tentar inovar e buscar trabalhar com os temas de minha escolha. Sei que não é fácil orientar pesquisas um pouco distantes do seu foco de estudo, mas agradeço a ousadia. Significou muito para mim.

Meu muito obrigado ao amigo Ms. Marcelo Brutti Righi que me auxiliou muito na realização deste estudo, sendo sempre uma referência em conhecimento e produção. Um abraço a meus amigos, Lorenzo, Henrique e aos “Rafaéis” (Machado, Martins, Barbosa), *vamo segui metendo forte!!*

Enfim, à Universidade Federal de Santa Maria, e através de sua figura, ao povo brasileiro, obrigado pela oportunidade.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Administração
Universidade Federal de Santa Maria

A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO WAVELETS NA ANÁLISE DA VOLATILIDADE DOS PREÇOS DO PETRÓLEO.

AUTOR: Alexander Souza Block
ORIENTADOR: Prof. Dr. Daniel Arruda Coronel
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de Novembro de 2013.

Este trabalho busca analisar em diferentes frequências, o sentido e a transmissão da volatilidade nos preços do petróleo bruto produzido pelos países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) e dos demais países produtores e exportadores que não fazem parte desta organização; bem como analisar a presença de quebras estruturais na correlação dinâmica entre os preços à vista e futuro do petróleo. A metodologia de *Wavelets* empregada tem por objetivo decompor as séries estudadas a fim de verificar seu comportamento em diferentes frequências, revelando informações adicionais ou confirmando tendências observadas. Para a verificação do processo de transmissão da volatilidade foi proposta a utilização do método de Causalidade de Granger. Desta forma foi possível compreender o funcionamento deste importante mercado e responder a seguinte questão: Como se comporta a volatilidade do preço do petróleo quando se analisam variados horizontes de tempo em uma análise no domínio da frequência? A análise da transmissão da volatilidade aponta para uma forte integração do mercado internacional do petróleo, enquanto o resultado da análise das quebras na correlação mostra que o ponto de quebra estrutural não é estático para toda e qualquer análise, ele se move, dependendo da frequência e do horizonte temporal.

Palavras-chave: Decomposição em frequências. Transmissão da volatilidade. Quebras estruturais. Petróleo.

ABSTRACT

Master Thesis
Santa Maria Federal University

THE APPLICATION OF WAVELETS FILTERING METHODS TO UNDERSTAND CRUDE OIL PRICES VOLATILITY.

AUTHOR: Alexander Souza Block
ADVISOR: Prof. Dr. Daniel Arruda Colonel
Date and Place of Defense: Santa Maria, November 27, 2013.

This work seeks to analyze at different frequencies, the transmission of volatility in the prices of crude oil produced by OPEC members and other producing and exporting countries that are not part of this organization and to analyze the presence of structural breaks in dynamic correlation between crude oil spot and future prices. The Wavelets methodology employed aims to decompose the series to verify its behavior at different frequencies, revealing additional information or confirming trends. To check the transmission process of the volatility it is proposed the application of Granger Causality Test. This made it possible to understand the functioning of this important market and answer the following question: How behaves the volatility of oil prices when analyzed considering several time horizons in an analysis in the frequency domain? The analysis of volatility transmission shows a strong integration of the international oil market, the correlation structural breaks tests results shows that structural break point is not static for any analysis, it moves, depending the frequency scale and the time window.

Keywords: Frequency decomposition. Volatility Transmission. Structural breaks. Crude Oil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo de petróleo por quadrimestre e região (2010-11).....	18
Figura 2 – Movimentos mensais do preço do petróleo, 2011.....	19
Figura 3 – Preço do barril WTI x Atividade Especulativa, 2011.	20
Figura 4 – Relação entre risco sistemático e diversificável.....	22
Figura 5 – Funcionamento do filtro.....	32
Figura 6 – Pirâmide algorítmica de <i>wavelets</i>	36
Figura 7 – Comportamento das series de volatilidade originais.....	45
Figura 8 – Volatilidades OPEC a não-OPEC decompostas por wavelet.....	48
Figura 9 – Coeficiente de correlação wavelet para as volatilidades do preço OPEC and non-OPEC	49
Figura 10 – Volatilidade e correlação condicional dinâmica estimada entre os preços à vista e futuros do WTI.....	53
Figura 11 – Quebras estruturais na correlação condicional dinâmica entre os preços à vista e futuros do WTI.....	54
Figura 12 – Decomposição da correlação condicional dinâmica: frequências D1 a D6.	55
Figura 13 – Quebras estruturais na correlação condicional dinâmica em D6 a D12.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre OPEP e não-OPEP.	18
Tabela 2 – Variedades de petróleo utilizadas na composição dos preços OPEP e não-OPEP no período de 03 de janeiro de 1997 a 30 de setembro de 2011.	43
Tabela 3 – Testes de estacionariedade ADF-GLS e KPSS	44
Tabela 4 – Estatísticas descritivas das frequências da volatilidade do petróleo OPEP.	46
Tabela 5 – Estatísticas descritivas das frequências da volatilidade do petróleo OPEP.	47
Tabela 6 – Teste de causalidade de Granger em cada frequência.	50
Tabela 7 – DCC-GARCH model estimated coefficients.	52
Tabela 8 – Resultados dos testes de quebras estruturais.	56
Tabela 9 – Datas de ocorrência das quebras estruturais nas frequências da correlação condicional dinâmica entre os preços à vista e futuros do WTI.	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Justificativa	12
1.2 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Estrutura do trabalho.	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 A OPEP e o mercado internacional de petróleo.	15
2.2 Transmissão, Risco e Volatilidade	20
2.3 Estudos recentes sobre a volatilidade dos preços do petróleo	25
2.4 Filtragem de dados e a aplicação de Wavelets	28
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 Filtragem e decomposição através de <i>Wavelets</i>.....	31
3.2 Transmissão e causalidade de Granger.	37
3.3 Testes de quebras estruturais na correlação entre os preços à vista e futuros do petróleo.	39
3.4 Fontes de dados.....	42
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	44
4.1 Resultados da análise da transmissão da volatilidade dos preços do petróleo OPEP e não-OPEP.	44
4.2 Resultados das quebras estruturais na correlação do petróleo WTI à vista e Futuro.	52
5 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade é dependente das fontes de combustível e energia que ela possui. Desde a segunda Revolução Industrial o petróleo assume papel de destaque como fonte de combustível e energia, que alimenta as mais variadas máquinas e equipamentos (KRÜGER, 2001).

Após o choque nos preços do petróleo em 1973, o comportamento desses preços tornou-se de preocupação diária para governos e investidores. A negociação de petróleo bruto também mudou, atraindo inúmeros tipos de participantes do mercado, não apenas as partes com interesses comerciais, mas também aqueles que tratam de óleo como uma forma de investimento. Nos últimos anos, a negociação de papéis tornou-se ainda mais ampla e acessível. Ao mesmo tempo, há um acesso relativamente fácil a vários mercados, particularmente o europeu e os mercados norte-americanos, onde os dois óleos de referência, Brent e West Texas Intermediate (WTI), são negociados.

A importância de medir a volatilidade não pode ser ignorada, porém igualmente importante, é compreender como a volatilidade é transmitida entre mercados e ativos. Nos mercados de petróleo, os agentes tem muitas vezes exposição a um grande número de diferentes tipos de petróleo bruto, com preços e volatilidades variadas possibilitando que construam carteiras formadas por diferentes variedades dessa commodity.

No cenário mundial do petróleo a OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) assume um papel central nas discussões sobre formação de preço e suprimento da demanda mundial. Criada na conferência de Bagdá em 1960 por Iran, Iraque, Kuwait Arábia Saudita e Venezuela, hoje possui 14 membros, todos importantes produtores mundiais. Tendo como objetivo coordenar e unificar políticas petrolíferas dos países membros, assegurando preços justos e estáveis para os países produtores, uma eficiente e regular oferta de petróleo para as nações consumidoras e um retorno justo para os que investem nessa indústria (OPEP 2012).

Apesar de possuírem aproximadamente 78% das reservas mundiais comprovadas de petróleo (OPEP, Boletim anual estatístico, 2012), todos os países membros são considerados como subdesenvolvidos e estão localizados em sua maioria no oriente médio e norte da África, regiões de grande instabilidade política e social. Neste contexto merecem destaque os quatro grandes choques no preço do petróleo devido a essa instabilidade: 1956 com a

nacionalização do Canal de Suez, 1973 com a Guerra do Yom Kippur, 1979 devido a Revolução Iraniana e 1991 com a I Guerra do Golfo.

Neste sentido, a relação risco x retorno se apresenta como o problema mais fundamental de pesquisa na área financeira. Conforme Hull (2012) o risco pode ser caracterizado pela diferença entre o resultado obtido e o resultado esperado. Quando se busca quantificar o risco são utilizadas diversas medidas, sendo a mais básica o desvio padrão. Dessa forma a volatilidade é definida como o desvio padrão do retorno proporcionado pela variável por unidade de tempo. Considerando que o retorno não pode ser previsto em um mercado eficiente, a volatilidade do ativo financeiro torna-se a principal medida de risco para os agentes.

Devido à relevância do tema, estudos recentes tem buscado compreender as questões a respeito da volatilidade do preço do petróleo. Yang *et al.* (2002) examinaram a estrutura de mercado da OPEP, a fim de verificar a volatilidade do preço do petróleo e a elasticidade de sua demanda. O modelo de correção do erro foi utilizado para estimar as relações de demanda e sua elasticidade, e o modelo GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) para investigar a volatilidade dos preços. Através de simulações nos preços do petróleo nos Estados Unidos, dado diferentes cortes na produção dos países membros da OPEP, os resultados indicam que uma redução de apenas 4% na produção significaria um aumento de 23% nos preços, devido ao seu papel crucial na economia americana.

Salisu & Fasanya (2013), empregaram os testes desenvolvidos por Narayan & Popp (2010) e Liu & Narayan, de 2010 para detectar quebras estruturais em séries de dados. Esta evidência sugere que a volatilidade do petróleo não é uniforme no tempo, apresentando efeitos de persistência e alavancagem. Este tipo de evidência mostra alguma necessidade de investigar a volatilidade do petróleo bruto a partir de um ponto de vista variável de tempo já que seu comportamento é alterado em razão da janela de tempo considerado.

Nesse sentido, a utilização da técnica de Wavelets pode trazer uma contribuição adicional à literatura. Benhmad (2012) ao verificar a casualidade entre o preço do petróleo e a cotação do dólar, demonstra a eficiência da decomposição em frequências em trazer novos resultados a problemas previamente discutidos. Seus resultados demonstram que a aplicação do método de causalidade em diferentes frequências revela relações mutáveis entre as variáveis. Através destas pesquisas pode-se perceber a importância desta matéria prima, não somente para indústria, mas também para o mercado financeiro e as questões referentes a comércio internacional e o desenvolvimento das nações.

Seguindo esta temática, este estudo busca: i) analisar em diferentes frequências, o sentido e a magnitude da transmissão da volatilidade nos preços do petróleo bruto produzido pelos países membros da OPEP e os demais países produtores e exportadores que não fazem parte desta organização; ii) analisar as quebras estruturais na correlação dinâmica entre os preços à vista e futuro do petróleo. Desta forma será possível compreender o funcionamento deste importante mercado e responder a seguinte questão: Como se comporta a volatilidade do preço do petróleo quando analisa-se, considerando variados horizontes de tempo em uma análise no domínio da frequência?

1.1 Justificativa

O comportamento dos preços do petróleo afeta de modo direto a economia de todas as nações, visto que os custos de importação tem impacto direto nas balanças comerciais, mercados financeiros e até mesmo nas taxas de câmbio (BASHER *et al.*, 2011).

Mais especificamente, a compreensão da volatilidade, de sua transmissão, a ocorrência de quebras estruturais na correlação dos preços à vista e futuros é importante para determinar os custos de capital, avaliar as decisões de investimento e alavancagem, e para computar as razões ótimas de hedge. Mudanças substanciais na volatilidade dos mercados de petróleo bruto podem ter significativos efeitos negativos sobre a aversão dos investidores ao risco.

Em outra dimensão encontram-se governos e população, ambos necessitando de fontes de energia abundantes e preços estáveis, que permitam investimentos e crescimento. Nesse sentido, compreender as transmissões de preços e volatilidade entre os produtores e exportadores da principal *commodity* energética pode auxiliar governantes a definirem estratégias de compra, negociação e estocagem. Sendo assim, estudar o comportamento, o processo de transmissão dos preços e das volatilidades e o estabelecimento dos seus formadores e tomadores fornecem informações fundamentais para a elaboração de estratégias e formação de políticas econômicas.

Em suma, este estudo torna-se relevante para a literatura ao empregar uma metodologia científica capaz de compreender o processo de transmissão de preços e volatilidades em diferentes frequências, fornecendo informações úteis tanto a investidores quanto governos. Também procura contribuir para a literatura ao analisar as quebras estruturais na correlação entre os preços à vista e futuro do petróleo, trazendo uma nova

abordagem, incorporando a volatilidade no preço do petróleo comercializado pelos países da OPEP, já tradicionais produtores, e os países não membros da organização, mas que tem sua participação crescente no mercado internacional. Dessa forma este estudo poderá servir de base a pesquisas futuras que busquem compreender a volatilidade deste setor bem como seu impacto em diferentes dimensões.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar em diferentes frequências, o sentido e da transmissão da volatilidade nos preços do petróleo bruto produzido pelos países membros da OPEP e dos demais países produtores e exportadores que não fazem parte desta organização

1.2.2 Objetivos específicos

- Verificar o sentido da transmissão da volatilidade do preço do petróleo entre os países membros e não-membros da OPEP;
- Determinar como as relações de transmissão ocorrem em diferentes frequências;
- Verificar a ocorrência de quebras estruturais na correlação do preço à vista e futuros do petróleo;
- Verificar a eficiência da técnica de *Wavelets* em revelar informações adicionais sobre o comportamento da volatilidade do preço do petróleo.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos. O primeiro tem por objetivo apresentar o problema de pesquisa e descrever brevemente a estrutura deste trabalho. O segundo capítulo apresenta o referencial teórico adotado como base para a realização do estudo. O terceiro capítulo descreve, em detalhes, a metodologia empregada para a realização da pesquisa.

No quarto capítulo são apresentados os resultados da pesquisa e suas implicações são discutidas. Por fim, no último capítulo apresentam-se as conclusões do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se o referencial teórico utilizado como embasamento para a realização deste trabalho. O mesmo encontra-se subdividido em três seções: A primeira tem por objetivo inserir o leitor no mercado internacional do petróleo, trazendo suas principais características e os principais aspectos de seu funcionamento. Desta forma serve de base para uma análise de resultados condizente com a realidade deste mercado. A segunda seção traz os principais estudos utilizados como base na elaboração e análise dos resultados. Para tanto apresenta vários estudos que ao longo do tempo tem procurado elucidar questões semelhantes em diversos objetos de estudo. Esta seção apresenta os fundamentos básicos ao estudo da volatilidade, apresentando os principais modelos econométricos desenvolvidos e suas aplicações.

A terceira seção apresenta os estudos mais recentes sobre a volatilidade dos preços do petróleo, tendo por objetivo alicerçar uma análise completa e atualizada dos resultados. Nesta seção também encontra-se uma introdução ao método de *Wavelets* e suas aplicação ao estudo do petróleo, com o objetivo de facilitar a compreensão deste método que será exposto em detalhes no capítulo seguinte.

2.1 A OPEP e o mercado internacional de petróleo.

A Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) foi criada em setembro de 1960, durante a conferência de Bagdá por Iran; Kuwait, Arábia Saudita e Venezuela. Com o passar dos anos mais nove países aderiram à organização: Catar (1961), Indonésia (1962) - que suspendeu a sua filiação de janeiro de 2009; Líbia (1962); Emirados Árabes Unidos (1967), Argélia (1969), Nigéria (1971), Equador (1973) – o qual suspendeu a sua adesão de dezembro de 1992 a Outubro de 2007, Angola (2007) e Gabão (1975-1994). Atualmente tem sede na cidade de Viena na Áustria. De acordo com a organização seu objetivo é: “coordenar e unificar as políticas de petróleo entre os países membros, a fim de garantir preços justos e estáveis para os produtores de petróleo; um fornecimento eficiente, econômico e regular de

petróleo para os países consumidores, e um retorno justo sobre o capital para quem investe na indústria” (OPEP, 2012).

A fundação da OPEP ocorreu em um momento de transição na economia e na política mundial com a descolonização extensa e o nascimento de muitos novos Estados independentes nos países em desenvolvimento. Conforme Campbell (2005), o mercado internacional do petróleo era dominado pelas "Sete Irmãs", como ficaram conhecidas nessa época às sete maiores companhias transnacionais de petróleo, que dominavam o mercado petrolífero (Royal Dutch Shell, Anglo-Persian Oil Company (APOC), Standard Oil of New Jersey (Esso), Standard Oil of New York (Socony), Texaco, Standard Oil of California (Socal) and Gulf Oil). Este oligopólio era acusado de criar um cartel que dominava o mercado, explorando os países e seus recursos naturais, ficando com a maior parte dos rendimentos.

Na década de 1970 os países membros assumiram o controle de suas indústrias de petróleo e passaram a ter papel importante na fixação de preços do petróleo bruto nos mercados mundiais. Em 1973, os preços do petróleo subiram abruptamente em um mercado volátil, quando em meio a Guerra do Yom Kippur, a OPEP anunciou que deixaria de enviar petróleo aos países que tinham apoiado Israel em seu conflito com o Egito, isto é, para os Estados Unidos e seus aliados na Europa Ocidental. Com início da Revolução Iraniana em 1979, o preço do barril volta a sofrer novo choque e a OPEP tem seu poder ampliado no cenário internacional (CAMPBELL, 2005).

Após atingirem níveis recordes no início da década de 1980, os preços começam a recuar, devido a grande oferta de petróleo. Mudanças no mercado fizeram os países membros perderem mercado e a receita advinda da exploração deste hidrocarboneto caiu significativamente, causando grandes dificuldades econômicas aos países membros da organização. A fim de coordenar sua política de preços é criada a Cesta de Referência de Preços, a qual é uma média ponderada dos preços de petróleo produzidos por países da OPEP. A Cesta passa a ser utilizada como uma referência importante para os preços do petróleo bruto. Sendo assim, os países membros acordaram em estabelecer limites máximos de produção, há também o início de um processo de diálogo entre os países membros e não membros da OPEP juntamente com o surgimento de questões ambientais no setor energético (OPEP 2012).

A grande maioria dos países membros da OPEP está localizada em regiões de grande instabilidade política, social e econômica. Em agosto de 1990, o Iraque invadiu o Kuwait, e no ano seguinte os Estados Unidos conduzem a uma força multinacional para derrotar o

Iraque, dando início a Primeira Guerra do Golfo. Esta guerra destruiu quase toda a infraestrutura de extração de petróleo bruto no Iraque e no Kuwait, criando instabilidade na região e como consequência elevando os preços. Como se sabe, a região do Golfo é muito rica em recursos petrolíferos, sendo responsável por cerca de 60% das importações norte-americanas de petróleo bruto. O excesso de volatilidade dominou a década, impulsionado pela crise econômica asiática e o rigoroso inverno do Hemisfério Norte trouxe os preços de volta para níveis de 1986 (OPEP, 2012).

Em setembro de 2001, os ataques terroristas e a guerra contra o terror tiveram efeitos no mercado de petróleo trazendo novas ondas de instabilidade. A volatilidade continuou elevada mesmo com o fim da II Guerra do Golfo em março de 2003. Perto de 2006 a incerteza da situação no Iraque, seu processo eleitoral, o julgamento de Saddam Hussein e os conflitos entre Israel e Palestina mantêm a tendência volátil do mercado.

A taxa real de crescimento do PIB dos membros da OPEP em 2011 (excluindo a Líbia) foi de 4,8 por cento, o que constituiu um aumento significativo em relação aos 3,8 em 2010 (Tabela 1). O aumento do preço do petróleo de quase 28% e na produção de petróleo bruto de quase 2% contribuiu para o aumento do crescimento econômico em 2011. Com isso a taxa de crescimento real do PIB dos países membros aproximou-se da taxa dos países que se convencionou chamar de não-OPEP.

De acordo com o *U.S. Energy Information Administration* (EIA, 2012) sete dos 15 maiores produtores de petróleo estão fora da OPEP (Rússia, Estados Unidos, China, México, Canadá, Noruega e Brasil). Entretanto muitos produtores não-OPEP são confrontados com preços que estão rapidamente se esgotando. Alguns grandes produtores, como os Estados Unidos, México e Noruega, experimentaram um declínio na produção nos últimos anos. No entanto, os números globais para produtores não-OPEP são reforçadas pelos aumentos significativos na produção do Brasil, Canadá e Rússia.

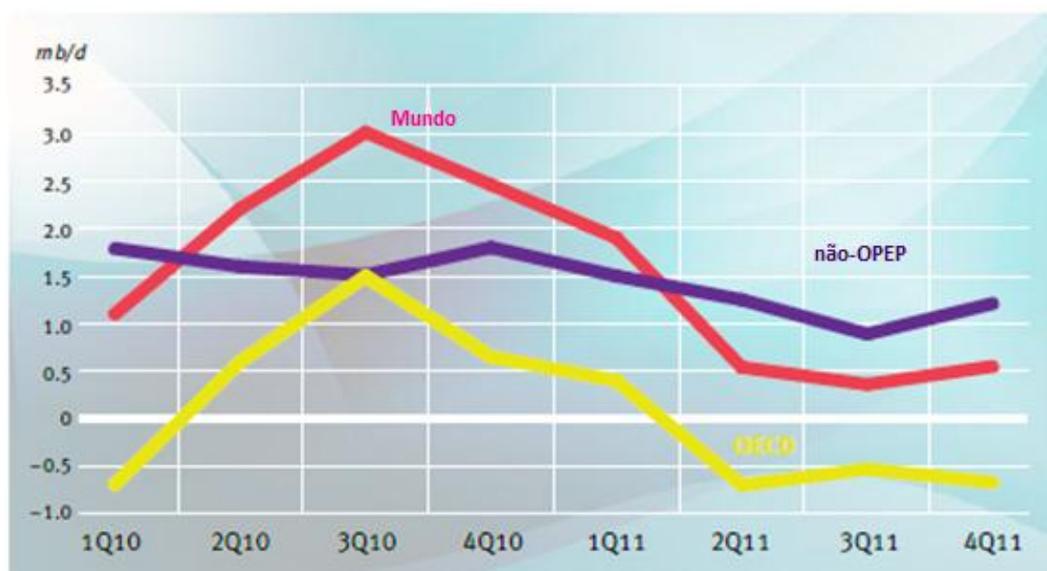
De acordo com a Tabela 1, apesar dos países não membros da OPEP (não-OPEP) serem significativos produtores, estes não são grandes exportadores. Suas economias industrializadas demandam grande quantidade dos recursos que produzem e sua pauta exportadora é mais diversificada.

Tabela 1 – Comparação entre OPEP e não-OPEP

	2010		2011	
	OPEP	não-OPEP	OPEP	não-OPEP
Crescimento real do PIB (%)	3,8	6,5	3,2	4,4
Exportações de petróleo (\$ bi.)	745,1	184,4	1.038,9	251,7
Exportações não petróleo (\$ bi.)	269,6	2.646,6	289,2	3.074,4
Percentual das exportações de petróleo em relação às demais exportações	73,4	6,5	78,2	7,6
Média da cesta de preços (\$/b)	77,5	-	107,5	-
Produção de petróleo cru (MB/d)	29,2	2,5	29,8	10,5
Reservas (\$ bi)	996,1	2.397,0	1.148,3	2.634,8

Fonte: OPEP (2011).

Conforme Kaabia (2013), as sucessivas crises econômicas se espalharam rapidamente pelos mercados com reflexos no emprego e na produção industrial, com ênfase nos países membros da Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD). A demanda por petróleo também sofreu retrações com a crise (Figura 1).

**Figura 1** – Consumo de petróleo por quadrimestre e região (2010-11).

Fonte: OPEP (2011).

Nesse cenário as economias emergentes como as dos BRICs (Brasil, Rússia, Índia e China) ganharam importância. Com suas economias menos afetadas pelas crises econômicas, estes países passaram a absorver partes maiores da produção de petróleo cru.

O período turbulento pelo qual a economia mundial vem passando nos últimos anos, também refletiu-se no comportamento dos preços desta commodity. A cesta de referência da OPEP oscilou dentro de uma ampla faixa, de US\$ 89,81 a 120,91/ b em 2011, e sua média anual ultrapassou a marca chave de 100 \$ / b pela primeira vez, em 107,46 \$ / b (Figura 2). Esta alteração representou um aumento de cerca de US \$ 30 / b, ou 39 por cento, em relação ao ano anterior. Além disso, foi quase 14 % maior do que o recorde anterior de 94,45 \$ / b , em 2008.



Figura 2 – Movimentos mensais do preço do petróleo, 2011.

Fonte: OPEP (2011).

O aumento da volatilidade nos preços do petróleo acompanhou o aumento da atividade especulativa na Bolsa de Nova York. No mercado futuro (dados da U.S. Commodity Futures Trading Commission (CFTC)), em média, os especuladores aumentaram tanto suas posições líquidas compradas em contratos futuros de petróleo bruto dos EUA quanto suas posições de

opções em 2011. Em média, fundos de hedge e outros grandes investidores aumentaram suas posições líquidas compradas na Bolsa de Nova York (NYMEX) de 68.766 contratos para 206.573, um aumento de quase 50% (Figura 3).



Figura 3 – Preço do barril WTI x Atividade Especulativa, 2011.

Fonte: Anuário OPEP 2011.

Como se pode observar, o petróleo é uma commodity bastante suscetível a diversas instabilidades. Ao longo dos últimos 50 anos, a volatilidade nesse mercado tem aumentado de maneira mais sucessiva. A permanente instabilidade política no Oriente Médio tem sido um dos principais motivos de insegurança dos investidores.

2.2 Transmissão, Risco e Volatilidade

A Lei do Preço Único (LPU), elaborada por Mundlak e Larson (1992), tem embasado diversos estudos sobre a transmissão de preços e a integração de mercados. De acordo com

Balcombe e Morrison (2002), o processo de transmissão de preços, e por consequência da volatilidade, fundamenta-se nas hipóteses de que o movimento de preços e o ajustamento integral resultam em transmissão completa em algum ponto de tempo; na dinâmica e velocidade de ajustamento; e na assimetria de respostas, isto é, se as variações de preços são transmitidas assimetricamente entre mercados.

Segundo Krugman e Obstfeld (2005), os bens idênticos comercializados em diferentes regiões devem ser vendidos pelo mesmo preço, quando seus preços são expressos em termos da mesma moeda, em mercados sob livre concorrência e na ausência de custos de transporte e barreiras oficiais ao comércio.

De acordo com Fackler e Goodwin (2001), a LPU pode ser evidenciada nas formas: fraca, diante da condição de arbitragem espacial; agregada, quando estabelecida em termos de índice de preço e conhecida como Paridade do Poder de Compra; e forte, quando o comércio for contínuo e garantir a condição de arbitragem, constituindo a forma mais comumente verificada na literatura econômica.

A LPU tem sido amplamente defendida na literatura, porém estudos como de Fackler e Goodwin (2001) sinalizam que os pressupostos teóricos da LPU são muito restritivos, já que não incorporam outras variáveis como custos de transação e volume comercializado entre mercados, que também desempenham papel importante na análise de integração de mercados.

As decisões financeiras são tomadas em um ambiente de incerteza em relação a seus resultados. Dessa forma é necessário que se introduza nas análises variáveis relacionadas à incerteza. Este raciocínio tem norteado estudos que buscam entender e quantificar os riscos associados às decisões financeiras.

Conforme exposto por Assaf Neto (2010), a incerteza relacionada a determinado evento pode ser quantificada por meio de uma distribuição de probabilidades dos diversos resultados. Sendo assim o risco pode ser compreendido como a probabilidade de ocorrência de determinado resultado em relação a um valor médio esperado.

Conforme Hibbeln (2010), ao se considerar o risco como um desvio em relação a um resultado médio esperado, o mesmo pode ser representado por diversas medidas estatísticas como o desvio padrão e a variância. Essas medidas de dispersão indicam como os valores de um conjunto distribuem-se em relação ao seu ponto central.

De acordo com Brealey *et al.* (2007) o risco total de qualquer ativo é formado por dois componentes, o risco sistemático e o risco não sistemático. O risco sistemático é inerente a todos os ativos negociados, sendo determinado por eventos de natureza política econômica e social. Cada ativo responde de maneira própria à situação estabelecida. Dessa forma, não há

como se evitar totalmente o risco sistemático, pois ele está associado ao próprio mercado, ou seja, tem origem na volatilidade do sistema econômico.

Por outro lado o risco não sistemático é próprio do ativo, e não contamina os demais ativos do portfólio, visto que tratando-se de um risco intrínseco ao ativo, sua eliminação da carteira é possível pela inclusão de ativos que não tenham correlação positiva entre si. Tal conceito embasa o modelo de diversificação de portfólio, proposto inicialmente por Markovitz (1952), que vem sendo utilizado como suporte para o desenvolvimento de diversos métodos de diversificação de carteiras.

Desta forma, o risco não sistemático, ou diversificável, pode ser diluído pela diversificação da carteira, enquanto o risco sistemático permanece inalterado com a inclusão de mais ativos (GITMAN; MADURA, 2003). Esta relação pode ser melhor observada na Figura 4.

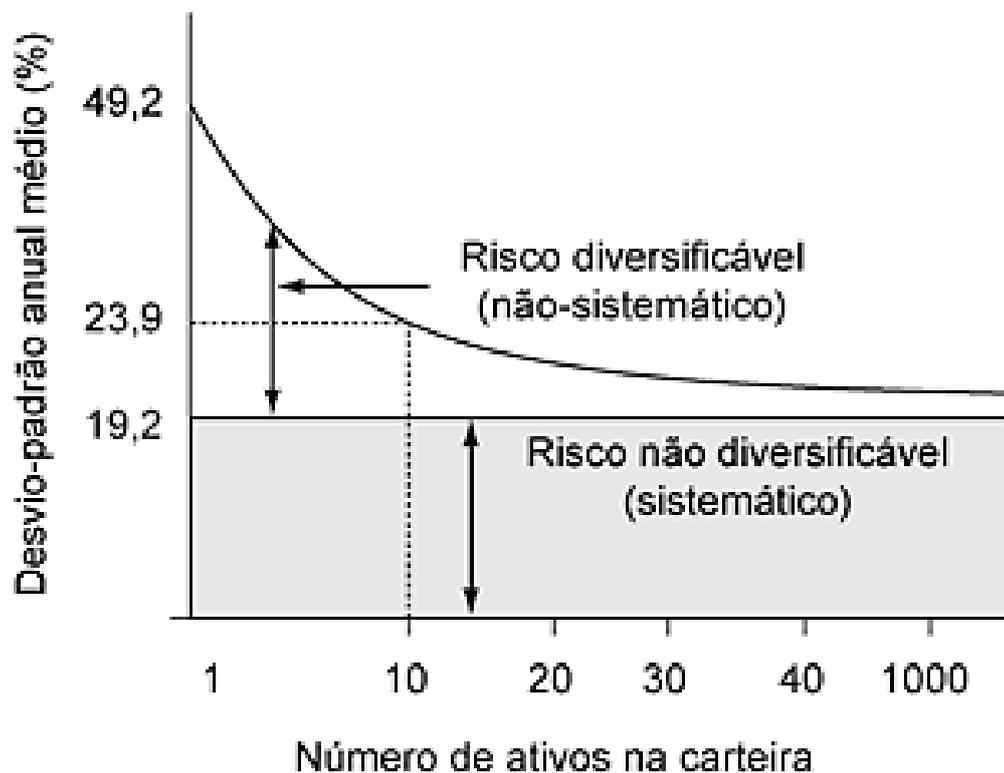


Figura 4 – Relação entre risco sistemático e diversificável.

Fonte: Gitman e Madura (2003).

Procurando reduzir a variância por considerá-la indesejável, ao contrário do retorno esperado, Markowitz (1952) propôs uma composição de ativos em um portfólio capaz de maximizar os retornos por nível de risco. Esse trabalho pioneiro constituiu a base para toda a teoria de finanças que se desenvolveu a partir da década de 1950.

Como se pode observar, os modelos de redução do risco são baseados no princípio de redução do risco não sistemático, ou seja, redução do desvio padrão e por consequência minimização da variância dos retornos. Conforme exposto por Hull (2007), a volatilidade de uma variável é definida como o desvio padrão do retorno proporcionado pela variável por unidade de tempo.

De acordo com Christoffersen (2012), o estudo da volatilidade tem diversas aplicações em finanças como composição de carteiras, determinação de razões de hedge entre outras. A modelagem da volatilidade proporciona uma abordagem simples na determinação do valor em risco (Value at Risk, VaR), de uma posição financeira na gestão do risco. Além disso, a volatilidade tem um importante papel na alocação de ativos na estrutura de utilidade de média-variância. Mais além, modelar a volatilidade de uma série temporal pode elevar a eficiência na estimação dos parâmetros, bem como a precisão em um intervalo de previsões. Ultimamente, os índices de volatilidade dos mercados tem se tornado instrumentos financeiros importantes.

Ao se falar em modelagem da volatilidade, faz-se pertinente abordar a família de modelos ARCH (Modelos Auto-Regressivos com Heterocedasticidade), propostos por Engle (1982), e inicialmente sendo estendido para a forma generalizada por Bollerslev (1986). As equações de (1) a (3), expõem matematicamente o modelo GARCH.

$$r_t = E(r_t) + \varepsilon_t, \quad (1)$$

$$\varepsilon_t = h_t z_t, z_t \sim i.i.d., \quad (2)$$

$$h_t^2 = \omega + \sum_p \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 + \sum_q \beta_q h_{t-q}^2 \quad (3)$$

onde: r_t representa o retorno de determinado ativo no instante t ; ε_t , é a inovação em relação ao valor esperado em relação ao retorno r_t no instante t ; $E(r_t)$; z_t representa uma série ruído branco; h_t^2 é a variância condicional do ativo no instante t ; ω , α_p e β_q são parâmetros, de tal

forma que $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta_q \geq 0$ e $\sum_{i=1}^{\max(p,q)} (\alpha_i + \beta_i) < 1$. O segundo somatório da equação (3) foi adicionado por Bollerslev (1986), dando origem ao modelo GARCH.

Os modelos da família ARCH deram origem a uma nova abordagem a respeito da volatilidade. Devido a sua simplicidade e eficiência foram objeto de estudo de vários trabalhos posteriores que geraram diversas extensões ao modelo inicial entre eles destaca-se: o Modelo de Potência Assimétrica (APARCH) de Ding, Granger, e Engle (1993); o Modelo GARCH com limiares (TGARCH ou GJR-GARCH) de Glosten, Jagannathan, e Runkle (1993) e Modelo GARCH Exponencial (EGARCH) de Nelson (1991).

Além da estimação via modelos da família ARCH, a volatilidade pode ser estudada de outras formas. Hull (2007) destaca que outras medidas funcionam como indicadores eficientes do comportamento da volatilidade como retornos quadrados do preço (equação (4)) e o módulo dos retornos do preço (equação (5)).

$$(p_t - p_{t-1})^2 = r_t^2 \quad (4)$$

$$|(p_t - p_{t-1})| = |r_t| \quad (5)$$

em que, p_t e p_{t-1} representam os preços do ativo nos período atual e seguinte respectivamente.

Essas medidas funcionam como *proxys* eficientes da volatilidade, pois caracterizam as oscilações do preço no tempo e respeitam as principais características da volatilidade. Conforme ressaltado por Tsay (2010), a volatilidade apresenta certas características: (i) existência de agrupamentos de volatilidade, clusters, podendo ser elevada em certos períodos e baixa em outros; (ii) evolução da volatilidade no tempo; (iii) evolução da volatilidade dentro de uma amplitude fixa, ou seja, ela é frequentemente estacionária; e iv) a volatilidade parece reagir de forma diversa a grandes aumentos e grandes diminuições nos preços dos ativos. A utilização tanto dos retornos quadrados quanto do módulo dos retornos respeita essas características, e como não são estimações, ou seja, não são variáveis estocásticas como a volatilidade estimada via modelo GARCH, não apresentam termo de erro, e por isso são bastante empregadas em estudos exploratórios sobre o comportamento da volatilidade.

2.3 Estudos recentes sobre a volatilidade dos preços do petróleo

Quando examina-se a transmissão da volatilidade entre os mercados financeiros alguns estudos merecem destaque. Hamao et al. (1990) utilizaram dados *intraday* (alta frequência), para analisar a transmissão da volatilidade entre as bolsas de Tóquio, Londres e Nova York entre abril de 1985 e março de 1988. Os resultados mostram que a volatilidade era transmitida de Nova York para os demais mercados, ou seja, os agentes guiavam-se pelas informações vindas de Nova York para definirem suas estratégias de negociação. King & Wadhvani (1994), utilizaram dados de dezesseis mercados acionários para estimar um modelo multifatorial no qual a volatilidade dos retornos é induzida por mudanças na volatilidade dos fatores. As evidências apontaram para a hipótese de não integração dos mercados no que diz respeito à precificação do risco, mas apontam para a ocorrência de contágio entre os mercados e de transmissão de volatilidade entre eles.

O teste de causalidade de Granger (1961) tem sido utilizado em diversos estudos econômicos e financeiros como uma metodologia eficiente na detecção do sentido das transmissões sejam elas de preços, taxas de câmbio ou volatilidades. Yang *et. al* (2006) utilizou modelos VAR e testes de causalidade a fim de verificar a transmissão de taxas de inflação entre as sete maiores economias. Seus resultados demonstram que mudanças inesperadas na inflação norte americana têm forte influência sobre a taxa de inflação de outros países.

Wang (2010) analisou a transmissão da volatilidade entre setores industriais norte-americanos. Utilizando testes de causalidade, os resultados demonstraram que a indústria de base, produtora de maquinários, pode ser uma fonte de risco, capaz de influenciar praticamente todos os outros setores. Porém setores tradicionais como petrolífero e automobilístico aparentemente não parecem ter grande influência sobre outros grandes setores.

Bentzen (2007) utilizou dados em alta frequência para e testes de causalidade para verificar a relação entre as variedades de petróleo WTI, Dubai e Brent. Os resultados demonstram uma relação bidirecional, o que evidencia a globalização deste mercado. He et al. (2010), investigaram as relações entre atividade econômica e preço do petróleo. Eles encontraram fortes evidências de causalidade de Granger entre estas variáveis. Outras aplicações de teste de causalidade também podem ser encontradas em Hong (2001), Bubak *et. al* (2011) Nishiyama (2011).

Engle & Susmel (1993) agruparam os mercados internacionais em três regiões geográficas, América do Norte, Extremo Oriente e Europa, utilizando um modelo fatorial com variância variável no tempo. Utilizando modelos ARCH, concluíram que alguns mercados internacionais tem a mesma volatilidade variável no tempo. Resultados similares a cerca da transmissão da volatilidade entre os mercados foram encontrados por Theodossiou & Lee (1993), Lin e col. (1994), Kim & Rogers (1995), Karolyi (1995), Darbar & Deb (1997), and Stokes & Neuburger (1998), sugerindo que a volatilidade é irregularmente transmitida entre os mercados e que a direção da transmissão depende especialmente do mercado que guia a decisão do investidor, ou seja, aquele em que o investidor toma a informação.

Algumas pesquisas buscam verificar a ocorrência de fenômenos similares nas cotações do petróleo. Weiner (1991), por exemplo, sugeriu que o mercado mundial de petróleo estaria longe de ser considerado unificado e que os preços do óleo cru não se moveriam conjuntamente ao redor do mundo. Entretanto, estudos mais recentes dão suporte à ideia de que os diferentes mercados tendem a se comportar como um mercado comum (ADELMAN (1992); GULEN (1999); EWING & HARTER (2000); ENGLE & GRANGER; (1987), BACHMEIER & GRIFFIN (2006)).

Ewing *et al.* (2002) examinaram as propriedades univariadas e bivariadas dos retornos dos índices de gás natural e petróleo, e verificaram como suas volatilidades oscilam com o tempo e entre os mercados. Através da estimação de um modelo GARCH multivariado para simultaneamente estimar a média e a variância condicional dos retornos diários foi possível evitar o problema associado ao processo de estimação em dois passos encontrado em estudos anteriores (PAGAN, 1984).

Utilizando uma abordagem similar, Jin *et al* (2012) analisaram a integração entre contratos futuros das variedades WTI, Dubai e Brent utilizando modelos VAR-BEKK. Dessa forma foi possível quantificar a persistência e o tamanho dessas conexões através de funções de Impulso e Resposta (VIRF). Considerando dois choques históricos (a crise de 2008 e o derramamento de óleo da BP Deepwater Horizon) foi possível observar que as variedades Dubai e Brent são mais responsivas aos choques do mercado do que a WTI. Através de simulações, demonstraram que apenas grandes choques provocam aumentos nas volatilidades condicionais esperadas.

Malik & Hammoudeh (2007), através de modelos BEKK-GARCH multivariados, estimaram a média e a variância condicional dos retornos diários para os mercados dos Estados Unidos e da região do Golfo. Este modelo foi utilizado para captar a transmissão dos choques e da volatilidade entre os mercados. Usando dados de retornos diários entre 14 de

fevereiro de 1994 e 25 de dezembro de 2001, foi possível examinar os mecanismos de transmissão de volatilidade entre os mercados dos Estados Unidos, Arábia Saudita, Kuwait e Bahrain. Os resultados mostraram significativas transmissões entre os mercados, sinalizando uma grande integração entre eles e podem ser utilizados tanto em modelos de precificação de ativos quanto para previsão de volatilidade futura.

No entanto, uma desvantagem desta abordagem é que, embora os modelos lidem com os clusters de volatilidade e reduzam os problemas de caudas grossas, os modelos GARCH geralmente assumem que não ocorrem mudanças no padrão das volatilidades. Como sabe-se, a volatilidade dos preços dos ativos é substancialmente afetada pelas mudanças de regime, correspondentes a alterações econômicas domésticas, a economia global, e os eventos políticos. Para lidar com este problema Kang et al. (2011) analisaram a volatilidade considerando quebras estruturais na série. O algoritmo ICSS, foi utilizado para identificar a oscilação da volatilidade em subperíodos e a especificação BEEK para o modelo GARCH (1,1) para estimar as mudanças na variância. Os resultados revelam cinco mudanças estruturais no período de 5 de janeiro de 1990 a 27 de março de 2009, reduzindo o grau de persistência na variância condicional para ambos retornos, concluindo que ignorar as mudanças estruturais pode distorcer o sentido do fluxo de entrada de informação e transmissão de volatilidade entre mercados de petróleo.

Seguindo a mesma linha, Ewing & Malik (2013) utilizaram parametrização BEEK para modelos GARCH univariado e bivariado para examinar a volatilidade do ouro e do petróleo futuros incorporando quebras estruturais. Os resultados mostraram fortes evidências de transmissão significativa da volatilidade entre os retornos do ouro e petróleo quando quebras estruturais são levadas em consideração, dando suporte a utilização de hedge cruzado e da possibilidade de utilização de informação comum pelos participantes do mercado.

Considerando uma abordagem alternativa, Hou & Suardi (2012), compararam métodos não-paramétricos para modelar e prever a volatilidade dos retornos do petróleo com nove classes de modelos GARCH estudadas por Wei *et al.* (2010). Os resultados sugerem que métodos não-paramétricos podem ser uma alternativa ao modelo paramétrico GARCH, uma vez que demonstraram melhor desempenho ao prever volatilidades fora da amostra.

2.4 Filtragem de dados e a aplicação de Wavelets

Os filtros e métodos de filtragem são os mais variados possíveis, sendo definidos de acordo com o tipo de dado, o problema de pesquisa, e o comportamento que se deseja observar. De tal forma os coeficientes w_t são determinados de forma a otimizar a captação destas características. Os estudos de Kalman (1960) e Kalman & Bucy (1961) trouxeram significativas contribuições à pesquisa de métodos de filtragem através de uma abordagem baseada na utilização de algoritmos recursivos. Estes estudos passaram a ser utilizados em diversos campos do conhecimento, que vão desde navegação, rastreamento por radar, posicionamento de satélites e até mesmo processamento de dados sísmicos.

A importância de se analisar séries temporais de uma maneira mais flexível vem sendo discutida a algum tempo. Brock (2000) argumenta a respeito da necessidade de analisar a frequência temporal de séries econômicas em seu estudo sobre a interface entre ecologia e economia. A análise de frequência temporal também foi utilizada por Ramsey & Zhang (1997) para diferenciar choques curtos (alta frequência) e movimentos longos (baixa frequência) em séries temporais financeiras.

No desenvolvimento deste estudo será utilizado o método de filtragem conhecido como *Wavelets*. Conforme Nason (2008), filtros *wavelet*, são uma ferramenta ideal para se lidar com as características variáveis no tempo encontradas na maioria das séries temporais. A função básica desta metodologia é decompor um processo em diferentes horizontes de tempo e dessa forma revelar comportamentos antes ocultos, como sazonalidades, quebras estruturais e clusters de volatilidade. Dessa forma é possível identificar propriedades locais e globais do processo nessas escalas de tempo. Além disso, filtros *wavelet* podem proporcionar uma maneira conveniente de dissolver estruturas de correlação deste processo através das escalas de tempo.

O termo *wavelets* foi inicialmente inserido na literatura de geofísica por Morlet et al. (1982) significando, em uma tradução livre, “pequenas ondas”, devido exigência de que as funções admissíveis integrem a zero, isto é, "ascensão e queda" como as ondas do oceano, acima e abaixo do eixo x . Assim, uma *wavelet* é uma pequena onda que cresce e se deteriora em um prazo limitado. A utilização do método de *wavelets* em finanças e economia, apresenta diversas vantagens sobre outros métodos de filtragem, como a análise Fourier, visto que entre elas não exige a estacionariedade da série, uma característica rara em séries financeiras, uma vez que estas costumam ser muito variáveis no tempo Nason (2006).

A tradicional análise Fourier pode ser usada para identificar os diferentes componentes de frequência de uma série temporal e quantificar a sua importância. No entanto, esta metodologia tem como pressuposto a estacionariedade, sendo assim demasiado restritiva, já que séries temporais económicas e financeiras são frequentemente sujeitos a mudanças de regimes, saltos, agrupamento de volatilidade, *outliers*, ou tendências de longo prazo (GENÇAY; SELÇUK; BRANDON, 2002). A metodologia de *wavelets* utiliza uma função básica chamada *mother wavelet*, ou “*wavelet-mãe*” que é expandida e contraída para capturar características locais no tempo e na frequência. O filtro *wavelet* é longo no tempo, quando captura eventos de baixa frequência, e curto no tempo, quando captura eventos de alta frequência. Através de combinações para expandir e contrair a “*wavelet-mãe*”, é possível capturar toda a informação presente em uma série temporal (GENÇAY, SELÇUK, BRANDON, 2002). Dessa forma, a *wavelet* se adapta, através de uma gama de frequências, para capturar características e localizar eventos que são locais no tempo. Isso faz dessa metodologia uma excelente ferramenta de análise de séries temporais, especialmente as não-estacionárias.

Conforme exposto as *wavelets* podem ser consideradas uma metodologia bastante útil para decompor séries temporais em diferentes frequências e revelar informações adicionais. O número de estudos económicos e financeiros que se utilizam desta ferramenta para obter análises mais aprofundadas tem crescido ultimamente. Ramsey & Zhang (1997) analisaram a relação entre o Marco alemão e o Dólar entre o Yen e o Dólar utilizando *wavelets*. Eles demonstraram que esta metodologia foi capaz de capturar uma série de eventos não estacionários nas séries. Ramsey & Lampard (1998) decompueram séries económicas em diferentes escalas a fim de identificar diferentes relações entre renda e consumo. Assim, demonstraram que esta relação oscila dependendo do horizonte temporal considerado na análise.

Capobianco (2003) investigou a utilização deste potencial na análise de volatilidades. Os resultados indicam que as *wavelets* podem ter um papel importante na detecção de características antes escondidas na série.

Para investigar as propriedades de escala da volatilidade cambial Gençay *et al.* (2001) utilizaram uma abordagem de *wavelets* multiescalonares, a qual decompôs a variância da série e a covariância entre as séries. Dessa forma foi possível demonstrar que volatilidades cambiais seguem leis de escala diferentes em diferentes horizontes.

Souza & Silva e col. (2010) empregaram *wavelets* para remover os movimentos de alta frequência dos preços do petróleo. Então utilizando o modelo de Markov, foram capazes de

prever a distribuição de probabilidade do retorno preços acumulada ao longo dos próximos dias e inferir as tendências futuras preços.

Power & Turvey (2010) analisaram a dependência de longo prazo da volatilidade em preços futuros de 14 commodities, incluindo petróleo bruto. Utilizando wavelets para decompor a série em escalas de tempo e o coeficiente de Hurst, não foi possível rejeitar a hipótese nula de que o parâmetro H de memória longa é constante para toda a amostra, caracterizando dependência serial de longo prazo. Ao contrário do proposto por Alvarez-Ramirez e col. (2008) não foram encontradas evidências da existência de tendências de variação do coeficiente de Hurst para nenhuma das commodities estudadas.

Wavelets podem ser especialmente úteis para investigar e reanalisar velhas questões com resultados divergentes, dada a sua capacidade para revelar mais informações das séries temporais.

Combinando *wavelets* e o modelo Markov Switching Vector Autoregressive (MS-VAR) para explorar o impacto dos choques do petróleo no mercado de ações da Inglaterra, França e Japão, Jammaz & Aloui (2010), mostraram a eficiência das *wavelets* para filtrar as séries e determinar o comportamento da volatilidade no mercado. Aplicando esta técnica foi possível encontrar diferentes dinâmicas nos preços do petróleo e encontrar relações que antes não eram visíveis.

Sendo assim, a utilização do método de *Wavelets* permite identificar o comportamento da volatilidade do petróleo em diferentes frequências. Esta abordagem pode ser especialmente significativa para compreender a direção da transmissão, fornecendo aos agentes dos mercados informações mais precisas e confiáveis.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia empregada neste estudo. Devido a utilização de diversos métodos este capítulo foi dividido em três seções: A primeira expõe em detalhes o método de filtragem *Wavelets* expondo suas características e formulação. A segunda expõe o Teste de Causalidade de Granger, trazendo a sua descrição matemática, e os testes empregados na verificação do cumprimento de seus pré-requisitos. A última seção traz a metodologia empregada na verificação da existência de quebras estruturais na correlação condicional dinâmica entre o preço do petróleo à vista e futuro. Para tanto expõe em detalhes cada teste utilizado e sua interpretação.

3.1 Filtragem e decomposição através de *Wavelets*

A interação de uma variável com as mudanças do ambiente pode resultar em um universo de relações, difíceis de serem observadas e compreendidas (GENÇAY et al., 2002). Os métodos de filtragem são utilizados na identificação de determinadas características e comportamentos de uma série temporal. Diversas áreas do conhecimento, como biologia, astronomia, engenharia e física, assim como economia e finanças, vêm se utilizando de diversas técnicas de filtragem de dados para identificar e extrair comportamentos dos dados analisados.

Mais especificamente, a filtragem em economia e finanças busca extrair componentes de uma série temporal como ruídos, sazonalidades e regimes. Considerando uma série temporal como uma sequência de observações ordenadas pelo tempo t , que caminha de menos infinito ao mais infinito,

$$\{x\}_{t=-\infty}^{\infty} = (\dots, x_{-2}, x_{-1}, x_0, x_1, x_2, \dots).$$

Um vetor x de tamanho finito pode ser visto como uma observação de um processo aleatório, ou de um segmento finito de uma sequência,

$$\begin{array}{c}
 \mathbf{x} \\
 \updownarrow \\
 (\dots, x_{-2}, x_{-1}, \underbrace{x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}}_{\text{observações}}, x_n, x_{n+1}, \dots)
 \end{array}$$

Onde: x_0 representa a primeira observação e x_{n-1} é a última observação.

Nesse sentido, um filtro linear tem a função de converter a série temporal x_t em uma nova série temporal y_t , de acordo com uma determinada transformação linear (Figura 5).



Figura 5 – Funcionamento do filtro.

Fonte: GENÇAY, SELÇUK, BRANDON (2002)

Dessa forma, o output y_t de um filtro linear é o resultado de uma modificação do input x_t pelo coeficiente w_t . Os elementos do vetor $w_t = (\dots, w_{-2}, w_{-1}, w_0, w_1, w_2, \dots)$ são os coeficientes do filtro. Sendo assim não há perda de observações, nem das características da série temporal. Sendo assim, a modificação do vetor x_t pelo vetor coeficiente w_t podem ser expressos conforme a equação (6).

$$y_t = \sum_{i=-\infty}^{\infty} w_i x_{t-i} \quad (6)$$

Para melhor compreensão considere-se o exemplo de filtro baseado em média móvel onde são filtrados N valores futuros e M valores passados. Os coeficientes w_t , atribuem “pesos” as observações passadas, presentes e futuras de modo que,

$$y_t = w_{-1}x_{t-1} + w_0x_t + w_1x_{t+1}. \quad (7)$$

dessa forma, y_t é uma lista de valores ponderada pelo instante t . Se w_{-1} , w_0 e w_1 , assumem respectivamente os valores 0.25, 0.50 e 0.25, y_t é uma lista onde as observações presentes tem mais impacto do que as observações do período anterior e futuro.

Conforme Gençay et. al (2002) uma *wavelet* $\psi(t)$ é uma função do tempo t que obedece a duas condições básicas, conhecidas como condições de admissibilidade de *wavelets*. Onde a primeira condição pode ser exposta da seguinte forma:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0, \quad (8)$$

A segunda condição imposta a uma função *wavelet* é energia unitária, isto é

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt = 1, \quad (9)$$

Implicando que após a decomposição da série, a variância em cada frequência passa ser constante, reforçando a permanência da estacionariedade após sua decomposição

A fim de quantificar a mudança de uma função a uma determinada frequência e em um determinado ponto no tempo, a *wavelet*-mãe $\psi(t)$ é dilatada e traduzida,

$$\psi_{u,s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (10)$$

Onde: u e s são, respectivamente, a localização em tempo e a escala dos parâmetros ou faixas de frequência. A Transformação Contínua em *Wavelets* (TCW) é uma função $W(u, s)$ que é obtida pela projeção da função original $x(t)$ na *wavelet*-mãe $\psi_{u,s}(t)$,

$$W(u, s) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{u,s}(t) dt. \quad (11)$$

A fim de avaliar as variações da função em grande escala (ou seja, em uma frequência baixa), um grande valor para s deve ser escolhido, e vice-versa. Aplicando a TCW para um

contínuo de parâmetros de localização e escala de uma função, é possível extrair um conjunto de componentes "básicos".

Como a TCW é computacionalmente complexa e contém uma elevada quantidade de informações redundantes (GENÇAY et al., 2002), durante a execução deste estudo será utilizada a Transformação Discreta em Wavelets (TDW) a qual fundamenta-se nos mesmos conceitos da TCW. A TDW é mais parcimoniosa, pois utiliza um número limitado de versões traduzidas e dilatadas da wavelet-mãe para decompor um dado sinal u e são escolhidos de forma a sintetizar a informação contida no sinal, em um mínimo de coeficientes definidos por:

$$s = 2^{-j} \quad (12)$$

$$u = k2^{-j} \quad (13)$$

onde: j e k são as integrais e representam o conjunto de tradução e dilatações respectivamente (GENÇAY et al., 2002).

A TDW é baseada em dois filtros chamados *wavelet*-mãe $h_1 = (h_0, \dots, h_{L-1})$, o qual é um filtro de alta frequência, e *wavelet*-pai $g_1 = (g_0, \dots, g_{L-1})$ sendo um filtro de baixa frequência, em que:

$$\sum_{l=0}^{L-1} h_l = 0 \quad (14)$$

e respeita a propriedade de energia unitária, ou seja:

$$\sum_{l=0}^{L-1} h_l^2 = 1 \quad (15)$$

Além disso, o filtro h_l t é ortogonal a seus deslocamentos, ou seja

$$\sum_{l=0}^{L-1} h_l h_{l+2n} = 0, \text{ para todas as integrais } n \text{ diferentes de } 0. \quad (16)$$

A propriedade de ortogonalidade implica que as séries resultantes da decomposição não são correlacionadas umas com as outras, dessa forma, cada série resultante carrega uma informação diferente.

Os coeficientes da *wavelet*-pai são determinados pela seguinte relação, Conforme Gençay et al. (2002)

$$g_l = (-1)^{l+1} h_{L-1} \text{ para } l = 0, \dots, L-1 \quad (17)$$

Este filtro respeita as seguintes propriedades básicas,

$$\sum_{l=0}^{L-1} g_l^2 = 1, \quad (18)$$

$$\sum_{l=0}^{L-1} g_l g_{l+2n} = 1, \text{ para todas as integrais } n \text{ diferentes de } 0. \quad (19)$$

$$\sum_{l=0}^{L-1} g_l h_{l+2n} = 1, \text{ para todas as integrais } n \text{ diferentes de } 0. \quad (20)$$

Portanto, os filtros satisfazem a propriedade de ortonormalidade, pois têm energia unitária e são ortogonais.

As *wavelets*-pai representam os filtros de baixa frequências, e as *wavelets*-mãe buscam capturar os detalhes ou componentes de alta frequência. Assim, a decomposição aplica uma sucessão de filtros de alta e baixa frequência para uma dada série temporal, o que permite a separação dos seus componentes, desde os de alta frequência até os de baixa frequência. Para Nason (2008), a *wavelet*-pai reconstrói maior componente de escala de tempo da série (tendência) e *wavelet*-mãe extrai os componentes cíclicos em torno da tendência. Sendo $w_l(t)$ e $v_l(t)$ respectivamente os coeficientes de alta e baixa frequência a decomposição de uma série temporal $x(t)$ é feita de acordo com a chamada pirâmide algorítmica (Figura 6).

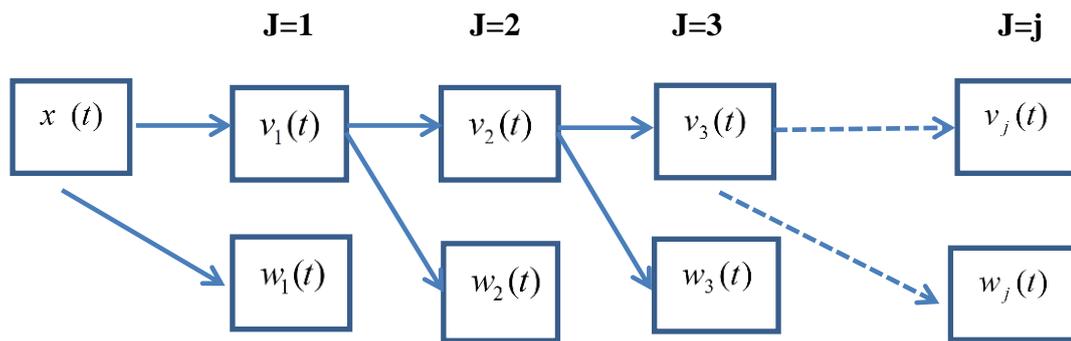


Figura 6 – Pirâmide algorítmica de *wavelets*

Fonte: Nason (2008)

onde os coeficientes $v_l(t)$ e $w_l(t)$ podem ser expressos como

$$v_l = \frac{1}{\sqrt{2}} \int \phi(t) \phi(2t - l) dt \quad (21)$$

$$w_l = \frac{1}{\sqrt{2}} \int \psi(t) \phi(2t - l) dt \quad (22)$$

em que: ϕ e ψ são respectivamente a *wavelet*-pai e *wavelet*-mãe que podem ser descritas genericamente como

$$\phi(x) = \sqrt{2} \sum v_l \phi(2x - l) \quad (23)$$

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum v_l \phi(2x - l) \quad (24)$$

Assim conforme Gençay et al. (2002) a decomposição de uma série temporal $x(t)$ em $L^2(\mathbb{R})$ por *wavelets* consiste em uma sequência de projeções através das *wavelets* pai e mãe as quais “comprimem” e “esticam” a série para captar seus componentes.

3.2 Transmissão e causalidade de Granger.

Conforme Tsay (2010) o teste de causalidade de Granger baseia-se no pressuposto de que o futuro não pode causar o passado nem o presente. Desta forma se Y ocorre após X, então Y não pode causar X. Da mesma forma se X precede a Y, isso não significa que X cause Y. Desta forma procura-se evidência de alguma das seguintes ocorrências: i) X causar Y ($X \rightarrow Y$); ii) Y causar X ($Y \rightarrow X$); iii) bi causalidade ($Y \rightarrow X$ e $X \rightarrow Y$).

Sendo assim, o teste de causalidade de Granger verifica se há informação contida em uma das séries analisadas que possibilite explicar a ocorrência de variações em na outra série. Formalmente,

$$x_{t,l} = \alpha + \sum_{i=1}^k \alpha_{x,i} x_{t-i} + \sum_{i=1}^k \alpha_{y,i} y_{t-i} + \varepsilon_{x,t} \quad (25)$$

$$y_{t,l} = \beta + \sum_{i=1}^k \beta_{x,i} x_{t-i} + \sum_{i=1}^k \beta_{y,i} y_{t-i} + \varepsilon_{y,t} \quad (26)$$

onde, na aplicação em questão, $x_{t,l}$ e $y_{t,l}$ representam a volatilidade (r^2) do preço do petróleo OPEP e não-OPEP respectivamente, no instante t e na frequência l , e $\varepsilon_{x,t}$ e $\varepsilon_{y,t}$ são ruído branco. Não rejeitar a hipótese nula na equação de regressão (25)

$$H_0 = \alpha_{y,1} = \alpha_{y,2} = \dots = \alpha_{x,k} = 0$$

implica que a volatilidade do preço do petróleo OPEP não causa, no sentido de Granger, a volatilidade do preço do petróleo não-OPEP. Da mesma forma ao não rejeitar a hipótese nula na equação de regressão (26)

$$H_0 = \beta_{x,1} = \beta_{x,2} = \dots = \beta_{x,k} = 0$$

implica que a volatilidade do preço do petróleo não-OPEP não causa, no sentido de Granger, a volatilidade do preço do petróleo OPEP.

Sendo assim, para que se possa concluir, por exemplo, que a volatilidade no preço do petróleo OPEP causa, no sentido de Granger, a volatilidade no preço do petróleo não-OPEP

duas condições devem ser preenchidas. Primeiro a hipótese nula “volatilidade OPEP não causa, no sentido de Granger, a volatilidade não-OPEP” deve ser rejeitada. Segundo, a hipótese a volatilidade não-OPEP não causa, no sentido de Granger, a volatilidade OPEP não deve ser rejeitada. Por outro lado, se ambas as hipóteses são rejeitadas simultaneamente, há uma relação de *feedback* entre as volatilidades OPEP e não-OPEP, ou seja, bi causalidade.

A aplicação do teste de causalidade de Granger requer que as séries temporais analisadas sejam estacionárias. De acordo com Tsay (2010) uma série temporal $\{x_t\}$ é considerada *estritamente estacionária* se a distribuição conjunta de $(x_{t_1}, \dots, x_{t_k})$ é idêntica a $(x_{t_1+t}, \dots, x_{t_k+t})$ para todo t , onde k é uma integral positiva definida e (t_1, \dots, t_k) é um conjunto de integrais positivas. Sendo assim, a estacionariedade restrita requer que a distribuição conjunta de $(x_{t_1}, \dots, x_{t_k})$ seja invariável no tempo. Por ser esta uma condição muito restritiva, difícil de se verificar empiricamente, normalmente se assume a estacionariedade fraca. Uma série $\{x_t\}$ é fracamente estacionária se tanto a média de x_t e a covariância entre x_t e $x_{t-\ell}$ são invariáveis no tempo, onde ℓ é uma integral arbitraria. Ou seja, $\{x_t\}$ é considerada estacionária se $E(x_t) = \mu$, onde μ é uma constante e $Cov(x_t, x_{t-\ell}) = \gamma_\ell$ depende apenas de ℓ . De forma prática a estacionariedade fraca implica que a série seja distribuída uniformemente, com variação constante, em torno de uma média fixa.

Um dos testes de estacionariedade mais conhecidos é o teste de raiz unitária Dickey-Fuller aumentado (ADF). Conforme Tsay (2010) o teste é calculado da seguinte forma:

$$\Delta x_t = \alpha + \beta_t + (\rho - 1)x_{t-1} + \sum_{i=1}^k \theta_i \Delta x_{t-i} + e_t \quad (27)$$

em que:

Δ é a diferença do operador x , de forma que $\Delta x_t = x_t - x_{t-1}$. A tendência linear de tempo é representada por t , e e é um processo de ruído branco. Se a hipótese nula de $\rho = 1$ não é rejeitada, diz-se que a série temporal x_t segue caminho aleatório.

Como forma de se confirmar a estacionariedade da série pode-se utilizar o teste KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin), proposto por Kwiatkowski *et al.* (1992). Supondo que a série de tempo analisada siga o seguinte processo:

$$x_t = \alpha t + r_t + \varepsilon_t \quad (28)$$

onde o erro ε_t é um processo estacionário e r_t segue caminho aleatório conforme equação (29), na qual $\mu \sim iid(0, \sigma_\mu^2)$

$$r_t = r_{t-1} + \mu \quad (29)$$

A partir desta estimação constrói-se a estatística KPSS:

$$LM = \sum_{t=1}^T S_t^2 / \sigma_\varepsilon^2 \quad (30)$$

onde S_t^2 é a soma dos quadrados dos resíduos. Desta forma os dois testes em conjunto possibilitam uma verificação mais completa do processo de estacionariedade.

3.3 Testes de quebras estruturais na correlação entre os preços à vista e futuros do petróleo.

Através da utilização do modelo DCC-GARCH de Engle (2002) foi estimada a correlação dinâmica entre os preços à vista e futuro do petróleo WTI. A estimação do referido modelo se dá em duas etapas: a primeira é a estimação do GARCH univariado; a segunda é a estimação da correlação condicional variável no tempo.

O GARCH multivariado é definido conforme:

$$X_t = \mu_t + H_t^{1/2} \varepsilon_t \quad (31)$$

$$H = D_t' R_t D_t \quad (32)$$

$$R_t = (\text{diag}(Q_t))^{-1/2} Q_t (\text{diag}(Q_t))^{-1/2} \quad (33)$$

$$D_t = \text{diag}(\sqrt{h_{11,t}}, \sqrt{h_{22,t}}, \dots, \sqrt{h_{NN,t}}) \quad (34)$$

onde, $X_t = (X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{Nt})$ é o vetor de observações passadas, H_T representa a variância condicional multivariada, $\mu_t = (\mu_{1t}, \mu_{2t}, \dots, \mu_{Nt})$ é o vetor dos retornos condicionais, $\varepsilon_t = (\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}, \dots, \varepsilon_{Nt})$ é o vetor dos resíduos padronizados, R_t é a matriz de correlação dinâmica $N \times N$ e D_t é a diagonal da matriz dos desvios padrões condicionais aos retornos da série, obtidos pela estimação do GARCH univariado com $\sqrt{h_{ii,t}}$ na i -ésima diagonal, $i = 1, 2, \dots, N$.

A especificação do DCC (Correlação Dinâmica Condicional) se da conforme:

$$Q_t = (1 - \varphi - \zeta)\bar{Q} + \zeta Q_{t-1} + \varphi \delta_{i,t-1} \delta_{j,t-1} \quad (35)$$

$$R_t = Q_t^{*-1} Q_t Q_t^{*-t} \quad (36)$$

Onde, $(Q_t) = [q_{ij,t}] = \sqrt{q_{ii,t}}$ é a matriz de covariância dos resíduos padronizados $\left(\delta = \frac{\varepsilon_{it}}{\sqrt{h_{it}}} \right)$, \bar{Q} , é a correlação incondicional de $\delta_{i,t} \delta_{j,t}$, φ e ζ são parâmetros que satisfazem $\varphi + \zeta < 1 \cdot Q_t^*$

Sendo assim, para os preços do WTI à vista e Futuros (S) e (F) a correlação condicional no tempo t pode ser definida como:

$$\rho_{SF,t} = \frac{(1 - \varphi - \zeta)\bar{q}_{SF} + \varphi \delta_{S,t-1} + \zeta q_{SF,t-1}}{[(1 - \varphi - \zeta)\bar{q}_{SS} + \varphi \delta_{S,t-1}^2 + \zeta q_{SS,t-1}]^{1/2} [(1 - \varphi - \zeta)\bar{q}_{FF} + \varphi \delta_{FF,t-1}^2 + \zeta q_{FF,t-1}]^{1/2}} \quad (37)$$

Onde, q_{SF} é o elemento da S -ésima linha e da F -ésima coluna da matriz Q_t . Os parâmetros são estimados utilizando o método quasi-maximum likelihood (QML) introduzido por Bollerslev et al. (1992).

Após a estimação da correlação condicional dinâmica entre os preços à vista e futuros do petróleo WTI, foi aplicado a Wavelet Daubechies LA(8) (conforme a descrição

metodológica apresenta na seção 3.1 desta dissertação) afim de decompor esta correlação e viabilizar a análise das quebras estruturais nas frequências da correlação condicional dinâmica.

Os testes de quebras estruturais foram realizados nas séries decompostas da correlação condicional dinâmica entre os preços à vista e futuros (S) e (F). Com o intuito de prover resultados mais confiáveis e precisos foram utilizados cinco testes de quebras estruturais, *cumulative sum of residuals* (CUSUM), *moving sums of residuals* (MOSUM) e os testes F : supF, aveF, expF. Em todos estes testes a hipótese nula é de ausência de quebras estruturais.

Os testes aplicados tem suas formulações representadas nas equações (38) a (43).

$$CUSUM_n(t) = \frac{1}{\sigma\eta} \sum_{i=k+1}^{k+[t\eta]} \hat{u}_i \quad (38)$$

$$MOSUM_n(t) = \frac{1}{\sigma\eta} \sum_{i=k+[N_{\eta t}]+1}^{k+[N_{\eta t}]+[t\eta]} \hat{u}_i. \quad (39)$$

Em 38 e 39, n representa o tamanho da amostra; k é o número de parâmetros; \hat{u} representa os resíduos padronizados; σ é o desvio padrão da amostra; $\eta = n - k$ é o número de resíduos recursivos.

Uma alternativa para identificar as mudanças estruturais são os testes F. Chow (1960) foi o primeiro a sugerir este tipo de teste na mudança estrutural para o caso em que o (potencial) ponto de mudança é conhecido. Propôs que se combinar duas regressões separadas para as duas sub amostras definidas por i_0 e rejeitar sempre que a equação (28) seja demasiado grande.

$$F_{i_0} = \frac{\hat{u}'\hat{u} - \hat{e}'\hat{e}}{\hat{e}'\hat{e}/(n-2k)} \quad (40)$$

Na equação 40 n é o tamanho da amostra; k o número de parâmetros; \hat{e} são os resíduos do modelo completo, onde os coeficientes são estimados separadamente, e \hat{u} são os resíduos do modelo restrito. O teste F_{i_0} tem uma distribuição chi-quadrado assintótica com k de graus de liberdade.

A principal desvantagem deste teste é que o ponto de mudança tem de ser conhecido anteriormente, mas existem testes baseados na estatística F, que não requeiram tal condição. Para isso primeiro passo consiste em calcular a estatística F para todos os pontos da amostra, e após isso, usar as expressões de formulações (41), (42) e (43) para testar se em alguns deles há uma mudança estrutural.

$$\sup F = \sup_{i \leq \bar{i} \leq \bar{i}} F_i \quad (41)$$

$$\text{ave}F = \frac{1}{\bar{i} - \underline{i} + 1} \sum_{i=\underline{i}}^{\bar{i}} F_i \quad (42)$$

$$F = \log \left(\frac{1}{\bar{i} - \underline{i} + 1} \sum_{i=\underline{i}}^{\bar{i}} \exp(0,5 F_i) \right) \quad (43)$$

onde, $[\underline{i}, \bar{i}]$ é intervalo da amostra.

3.4 Fontes de dados

Para a realização da transmissão da volatilidade dos preços do petróleo OPEP e não-OPEP nas frequências foram utilizados séries de dados referentes ao preço do petróleo OPEP e não-OPEP. As séries em questão são médias de preço (dólares/barril) ponderadas pelo volume exportado pelos países membro da OPEP e por demais países produtores e exportadores não membros da organização em frequência semanal e foram disponibilizadas pela *U.S. Energy Information Administration* (EIA). As médias são referentes aos seguintes países e variedades de petróleo:

Tabela 2 – Variedades de petróleo utilizadas na composição dos preços OPEP e não-OPEP no período de 03 de janeiro de 1997 a 30 de setembro de 2011

OPEP	não-OPEP
Abu Dhabi Murban Spot Price FOB	Australia Gippsland Spot Price FOB
Algeria Saharan Blend Spot Price FOB	Brunei Seria Light Spot Price FOB
Angola Cabinda Spot Price FOB	Cameroon Kole Spot Price FOB
Asia Dubai Fateh Spot Price FOB	Canadian Par Spot Price FOB
Ecuador Oriente Spot Price FOB	Canada Heavy Hardisty Spot Price FOB
Mediterranean Sidi Kerir Iran Heavy Spot Price FOB	Canada Lloyd Blend Spot Price FOB
Mediterranean Sidi Kerir Iran Light Spot Price FOB	China Daqing Spot Price FOB
Iraq Kirkuk Netback Price FOB	Colombia Cano Limon Spot Price FOB
Kuwait Blend Spot Price FOB	Egypt Suez Blend Spot Price FOB
Libya Es Sider FOB Spot Price	Gabon Mandji Spot Price FOB
Neutral Zone Khajji Spot Price FOB	Indonesia Minas Spot Price FOB
Nigeria Bonny Light Spot Price FOB	Malaysia Tapis Blend Spot Price FOB
Europe (Forcados, Nigeria) Spot Price FOB	Mexico Isthmus Spot Price FOB
Qatar Dukhan Spot Price FOB	Mexico Maya Spot Price FOB
Saudi Arabia Heavy Spot Price FOB	Europe (Ekofisk, Norway) Blend Spot Price FOB
Saudi Arabia Light Spot Price FOB	Oman Blend Spot Price FOB
Saudi Arabia Medium Spot Price FOB	Mediterranean (Russia, Urals) Spot Price FOB
Venezuela Bachaquero 17 Spot Price FOB	
Venezuela Bachaquero 24 Spot Price FOB	
Venezuela Tia Juana Light Spot Price FOB	Europe (UK) Brent Blend Spot Price FOB

Nota: FOB significa *Free On Board*, preço que não inclui despesas adicionais com frete, seguros, taxas entre outros. Após embarcado os custos serão por conta do comprador.

Fonte: Dados da pesquisa.

O período analisado se estende de 03 de janeiro de 1997 a 30 de setembro de 2011, totalizando 768 observações. O período de análise deve-se ao fato de a média ponderada pelo volume exportado para o petróleo não-OPEP ser apurada a partir do ano 1997 e ainda não haver dados disponíveis para o ano de 2012.

Para a realização dos testes de quebra estrutural na correlação dos preços à vista e futuro do petróleo, foram utilizadas 6296 observações. As observações referem-se ao preço de fechamento do West Texas Intermediate (WTI) à vista e futuro entre o período de 20 de maio de 1987 a 19 de junho de 2012. Todos os dados foram disponibilizados pela *U.S. Energy Information Administration* (EIA).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o intuito de facilitar a compreensão dos resultados deste estudo os mesmos foram divididos em duas subseções. A primeira expõe os resultados referentes a análise de transmissão da volatilidade entre OPEP e não-OPEP.

A segunda subseção traz os resultados referentes aos testes de quebras estruturais na correlação condicional dinâmica correlação do petróleo WTI à vista e Futuro.

4.1 Resultados da análise da transmissão da volatilidade dos preços do petróleo OPEP e não-OPEP.

A estacionariedade é um pressuposto importante quando se utiliza métodos de análise de séries temporais. Neste sentido aplicou-se o teste Augmented Dickey-Fuller GLS com constante (ADF-GLS) e KPSS nas séries dos log-retornos quadrados dos preços do petróleo OPEP e não-OPEP.

Tabela 3 – Testes de estacionariedade ADF-GLS e KPSS

Augmented Dickey-Fuller (GLS) test			KPSS test	
Variable	Test Statistic	p-value: Z(t)	Test Statistic	Critical value 5%
<i>OPEC</i>	-3.8171	0.0001	0.1173	0.462
<i>Non-OPEC</i>	-3.5656	0.0003	0.1171	0.462

Fonte: Dados da Pesquisa

Os testes ADF-GLS e KPSS confirmam a ausência de raiz unitária, permitindo sua modelagem estatística. A Figura 2 mostra o comportamento da série original da volatilidade. É possível verificar que a volatilidade não é constante no tempo, além de ocorrerem fortes clusters de volatilidade.

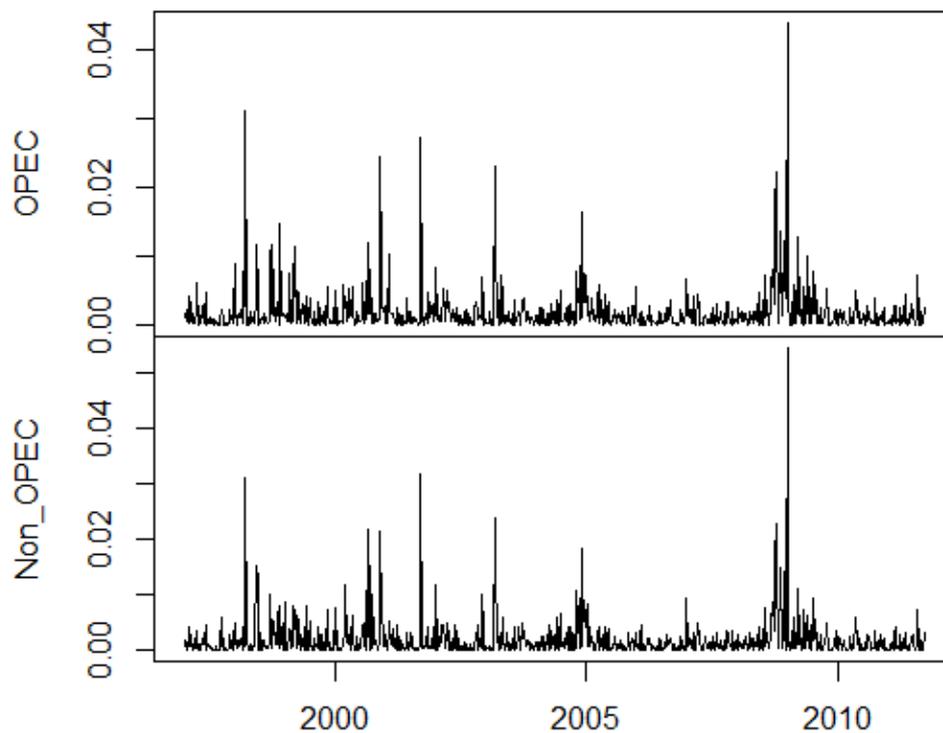


Figura 7 – Comportamento das series de volatilidade originais

Fonte: Dados da pesquisa

Esta evidência sugere que a volatilidade é restrita a certos momentos, e se espalha ao longo do tempo. Por volta de 2001, pode ser percebido um aumento da volatilidade, referindo-se possivelmente aos ataques terroristas de 11 de setembro. Em março de 2003, a segunda Guerra do Golfo trouxe mais instabilidade para a produção de petróleo bruto. No final de 2005, pode ser observada uma maior volatilidade, novamente, causada pela incerteza da situação no Iraque, seu processo eleitoral e aumento da violência, o julgamento de Saddam Hussein e os conflitos entre Israel e Palestina. Depois de alguns anos de estabilidade, a volatilidade do petróleo atingiu níveis recordes, devido à crise financeira de 2008. Esta análise reforça o observado em diversos estudos: a volatilidade parece estar restrita aos momentos em que o mercado recebe boas ou más notícias.

De acordo com a Tabela 4, tanto a volatilidade do petróleo OPEP quanto o não OPEP, apresentam médias muito próximo de zero, sendo um pouco mais alta para não-OPEP. O mesmo ocorre com a variância e os demais indicadores, o que sugere que a volatilidade não-OPEP é maior e oscila mais do que a Opep. A assimetria é uma característica positiva da volatilidade, uma vez que é sempre positiva. A análise da kurtose revela que a distribuição

não OPEP apresenta cauda mais pesada, o que é consistente com o comportamento de variância.

A OPEP é responsável pela maior parte da produção de petróleo, e como se trata de uma organização, onde todos os membros tomam decisões em conjunto, diferentemente do que ocorre para os países não-OPEP, que não tem uma política coordenada. Esta regulação por parte da OPEP pode trazer instabilidade ao mercado em certos momentos. Esta regulação da oferta é percebida por agentes de mercado e isso tem reflexo nas estatísticas descritivas.

Além disso, os países da OPEP são produtores e exportadores mais tradicionais e sua capacidade e reservas já são conhecidas, enquanto os países não-OPEP tiveram a maior parte de suas reservas descobertas durante os últimos anos, e o volume anual extraído ainda não é estável (um bom exemplo é Brasil, com enormes reservas na camada pré-sal, mas, devido à complexidade técnica e custos elevados, eles permanecem inexploradas). Apesar de sete dos 15 maiores produtores de petróleo não pertencerem à OPEP, os países não-OPEP não são grandes exportadores, eles consomem a maior parte dessa produção, e isso pode ser uma razão pela qual seus preços são mais voláteis.

A fim de captar mais informações, as série da volatilidade não-OPEP e OPEP foram decompostas pelas Wavelet Daubechies LA (8). De acordo com Gençay (2002) a LA (8) apresenta o melhor ajuste ao comportamento das séries financeiras, especialmente quando se trabalha com volatilidade. Ao aplicar esta fórmula, as séries foram decomposta em oito frequências, D1 a D8, considerando frequências de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 semanas, respectivamente. A Figura 8 mostra o comportamento da série decomposta pela wavelet.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas das frequências da volatilidade do petróleo OPEP.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Média	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Variância	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Desv.	0.0021	0.0015	0.0012	0.0007	0.0007	0.0008	0.0007	0.0005
Assimetria	2.3582	1.2937	0.7972	0.4710	1.0023	0.9296	0.9124	0.1532
Kurtose	29.081	15.653	7.8281	2.4630	4.4679	2.5996	0.9124	-0.109

Fonte: Dados da pesquisa.

As estatísticas descritivas para as frequências OPEP e não OPEP são apresentadas na Tabela 4 e Tabela 5, respectivamente. O desvio padrão decrescente da OPEP e não-OPEP mostra que em baixa frequência a série oscila menos, sendo mais constante.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas das frequências da volatilidade do petróleo OPEP.

	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Média	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Variância	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Desv..	0.0025	0.0017	0.0014	0.0009	0.0008	0.0009	0.0008	0.0005
Assimetria	1.9878	1.0145	1.0059	0.0901	1.1811	0.9228	0.9122	0.0882
Kurtose	37.332	14.457	9.6055	3.0776	5.9191	2.3422	1.3087	-0.279

Fonte: Dados da pesquisa.

Como ocorre nos dados originais, a assimetria é sempre positiva e diminui de D1 a D8, o mesmo ocorre com a kurtose, devido a no longo prazo das baixas frequências, diminuir a presença de outliers e a série tornar-se mais suave. A variância é 0,000 em todas as frequências que de acordo com Fan e Gençay (2010) está relacionada à propriedade de energia unitária e indica que as séries são estacionárias após a decomposição. A Figura 8 mostra o comportamento das séries decompostas.

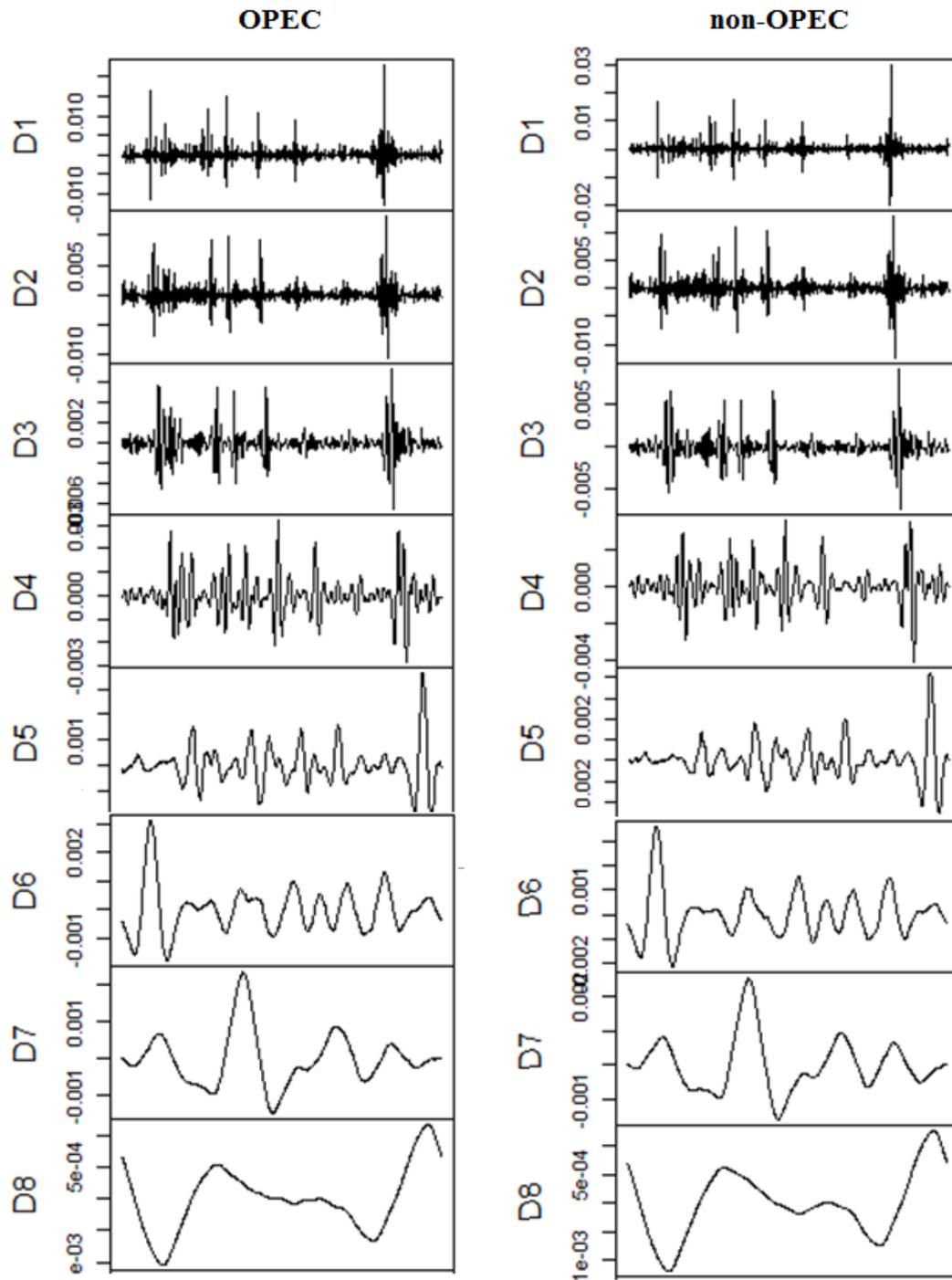


Figura 8 – Volatilidades OPEC a não-OPEC decompostas por wavelet.

Fonte: Dados da pesquisa

As séries decompostas apresentam um comportamento diferente das séries originais. Apesar das altas frequências (D1, D2 e D3) apresentarem agrupamentos de volatilidade, bem como a série original, as baixas frequências D4, D5, D6, D7 e D8 revelam as volatilidade do petróleo se espalha ao longo do tempo. Como pode ser observado, a decomposição por

wavelets revela que a volatilidade do petróleo bruto não se mantém isolada no evento, ela é capaz de contaminar os períodos seguintes. Isso significa que, considerando períodos mais longos de observação, uma vez que a série é gravemente perturbada por más notícias, a volatilidade não volta ao nível anterior. De um ponto de vista diferente Jin et al. (2012) concluem que apenas os grandes choques irão aumentar as volatilidades condicionais. Isso pode ser confirmado pela decomposição por *wavelets*, uma vez que a volatilidade parece ser incorporada nos períodos futuros.

Este resultado pode trazer novas informações para os agentes do mercado de petróleo. Investidores de longo prazo podem estar sujeitos aos efeitos da volatilidade por longos períodos, enquanto os investidores de curto prazo estão sujeitos apenas à volatilidade localizada. Isso não significa que os investidores de curto prazo são menos expostos ao risco, mas significa que os investidores de longo prazo devem monitorar os eventos por períodos mais longos.

As relações entre as volatilidade OPEP e não-OPEP podem ser analisadas pelo coeficiente de correlação *wavelet* (WCC). O WCC é estimado de acordo com a equação (34) e mostra a correlação de cada frequências.

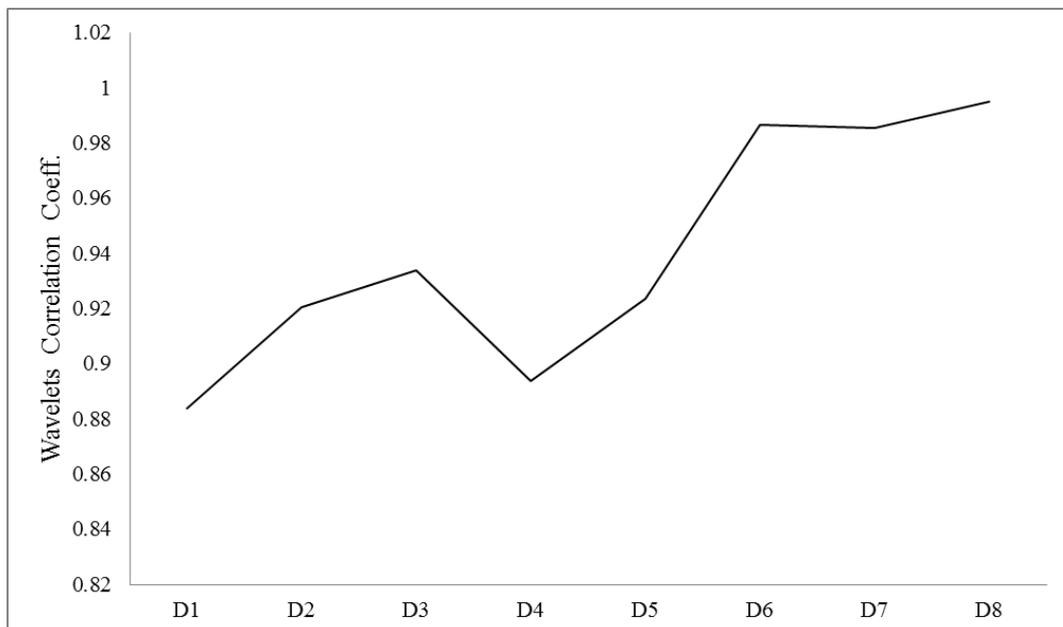


Figura 9 – Coeficiente de correlação *wavelet* para as volatilidades do preço OPEP e não-OPEP

Fonte: Dados da pesquisa

Como pode ser observado a correlação é maior nas frequências mais baixas. Em D1 encontra-se a menor correlação ($r^* = 0,8838$) e, em menor frequência, D8 encontra-se a maior correlação (0,9950). Esta evidência mostra que a correlação, além de forte, não é constante ao longo do tempo e aponta para a existência de mecanismos de ajustamento de volatilidade. No curto prazo, a volatilidade não é a mesma para os petróleos OPEP e não-OPEP, no entanto, podemos dizer que, no longo prazo, a volatilidade se espalha para os dois óleos contaminando-os igualmente.

A fim de compreender a dinâmica da volatilidade, entre os países OPEP e não-OPEP analisou-se a transmissão de volatilidade do ponto de vista da causalidade de Granger. Com base nessa perspectiva é possível observar se um desses fornecedores tem poder suficiente para determinar a volatilidade do mercado. As causalidades são realizados para cada frequência $D_{l,OPEP} \longleftrightarrow D_{l,não-Opep}$. A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes realizados entre as oito frequências.

Tabela 6 – Teste de causalidade de Granger em cada frequência.

h_0	$x \xrightarrow{não} y$		$y \xrightarrow{não} x$	
	estatística χ^2	p-valor	estatística χ^2	p-valor
D1	72.099	0.011	69.418	0.018
D2	84.489	0.002	86.751	0.001
D3	95.665	0.002	83.877	0.023
D4	96.188	0.002	117.24	0.000
D5	131.73	0.000	117.91	0.000
D6	178.65	0.000	168.83	0.000
D7	275.19	0.000	207.37	0.000
D8	420.73	0.000	223.88	0.000

Nota: Onde x e y são as volatilidade OPEP e não OPEP e a seta representa a direção da causalidade de Granger.
Fonte: Dados da pesquisa.

Confirmando o já encontrado na decomposição por *wavelets*, a volatilidade não está reclusa em clusters, ela se espalha por vários períodos, o critério de Akaike indica entre 50 e 70 lags a serem considerados nas estimativas, confirmando e reforçando estas evidências. Para todas as oito frequências analisadas a hipótese nula, (OPEP não causa não-OPEP e não-OPEP não causa OPEP) são rejeitados, mostrando fortes relações bi-causais entre OPEP e não

OPEP. Isto significa que a OPEP e não-OPEP influenciam-se mutuamente, e nenhum deles tem poder suficiente para por si só determinar a volatilidade do mercado. Essa relação confirma o observado por Bachmeier e Griffin (2006), sugerindo que o mercado de petróleo é unificado e se comporta como um mercado comum. Estes resultados podem ser corroborados pelos trabalhos de Malik e Hammoudeh (2007), em que os resultados de causalidade de Granger sugerem que os choques fazem a volatilidade “transbordar” de um país para outro, uma vez que de acordo com Ewing e Malik (2013), o mercado mundial de petróleo compartilha informações.

A maior parte da instabilidade do mercado de petróleo vem questões relacionadas a política no Oriente Médio, no entanto, as produção não-OPEP tem poder para amortecer a volatilidade gerada por estas questões. Considerando que a não-OPEP não é uma organização, com o poder central e com decisões coordenadas sobre a produção de petróleo, pode ser considerado surpreendente que eles possam influenciar a volatilidade do petróleo o OPEP. Aqui, novamente, é preciso lembrar que sete dos 15 maiores produtores de petróleo não pertencem à OPEP e, na última década, a produção dos países não-OPEP aumentou consideravelmente, o que representa 10,5 milhões de barris por dia, ou 25% do produção de petróleo bruto mundial. Além disso, as reservas não OPEP superam os da OPEP, na proporção de 2 para 1 (OPEC, 2011).

Essas evidências podem ser especialmente úteis para os formuladores de políticas energéticas determinarem seus fornecedores. Os países não-OPEP estão menos sujeitos à instabilidade política desde a maioria deles não estão envolvidos em conflitos intermináveis. O crescimento contínuo da produção não-OPEP pode trazer excelente perspectiva para grandes consumidores, como os Estados Unidos. Melhorar a produção doméstica e assinar contratos com os países não-OPEP pode ser uma boa alternativa para ficar menos sujeito à volatilidade do petróleo bruto, amortecendo más notícias.

Outra conclusão política e econômica importante a ser destacada vem do fato de que a não-OPEP, mesmo não sendo uma organização é ainda sim capaz de influenciar a volatilidade do petróleo. Se importantes produtores e consumidores, como Estados Unidos, Canadá, Noruega, Brasil, Rússia, México e China tivessem a capacidade de coordenar suas políticas sobre petróleo, essa influência poderia ser ainda mais forte.

4.2 Resultados das quebras estruturais na correlação do petróleo WTI à vista e Futuro.

A correlação condicional dinâmica da volatilidade entre o petróleo WTI à vista e Futuro foi estimada de acordo com o modelo DCC-GARCH de Engle's (2002). Os resultados demonstram o bom ajustamento do modelo o que pode ser observado pela significância dos parâmetros, especialmente os que se referem a distribuição conjunta (Tabela 7).

Tabela 7 – DCC-GARCH model estimated coefficients.

	Coefficiente	Desv. Pad.	t valor	p-valor
μ^{Spot}	0.0002	0.0002	1.1249	0.2606
AR_1^{Spot}	0.7723	0.0829	9.3160	0.0000
MA_1^{Spot}	-0.7926	0.0796	-9.9491	0.0000
ω^{Spot}	0.0000	0.000	4.3522	0.0000
α_1^{Spot}	0.0645	0.0083	7.7117	0.0000
β_1^{Spot}	0.9242	0.0104	88.0659	0.0000
$Skew^{Spot}$	0.9355	0.0175	53.3787	0.0000
μ^{Future}	0.0002	0.0002	0.9552	0.3394
AR_1^{Future}	0.7530	0.0824	9.1348	0.0000
MA_1^{Future}	-0.7743	0.0799	-9.6835	0.0000
ω^{Future}	0.0000	0.0000	3.8289	0.0000
α_1^{Future}	0.0604	0.0086	6.9899	0.0000
β_1^{Future}	0.9313	0.0088	104.6867	0.0000
$Skew^{Future}$	0.9450	0.0170	55.4946	0.0000
$Joint_{dcca}$	0.0475	0.0162	2.9263	0.0000
$Joint_{dccbl}$	0.9307	0.0343	27.0878	0.0000

Fonte: Dados da pesquisa

As volatilidades dos preços à vista e Futuros apresentam comportamento bastante similar. Entretanto os picos na volatilidade Futuro costumam ocorrer antes dos picos da volatilidade à vista (Figura 10), confirmando que a volatilidade do mercado Futuro determina a volatilidade do mercado à vista como encontrado em diversos estudos.

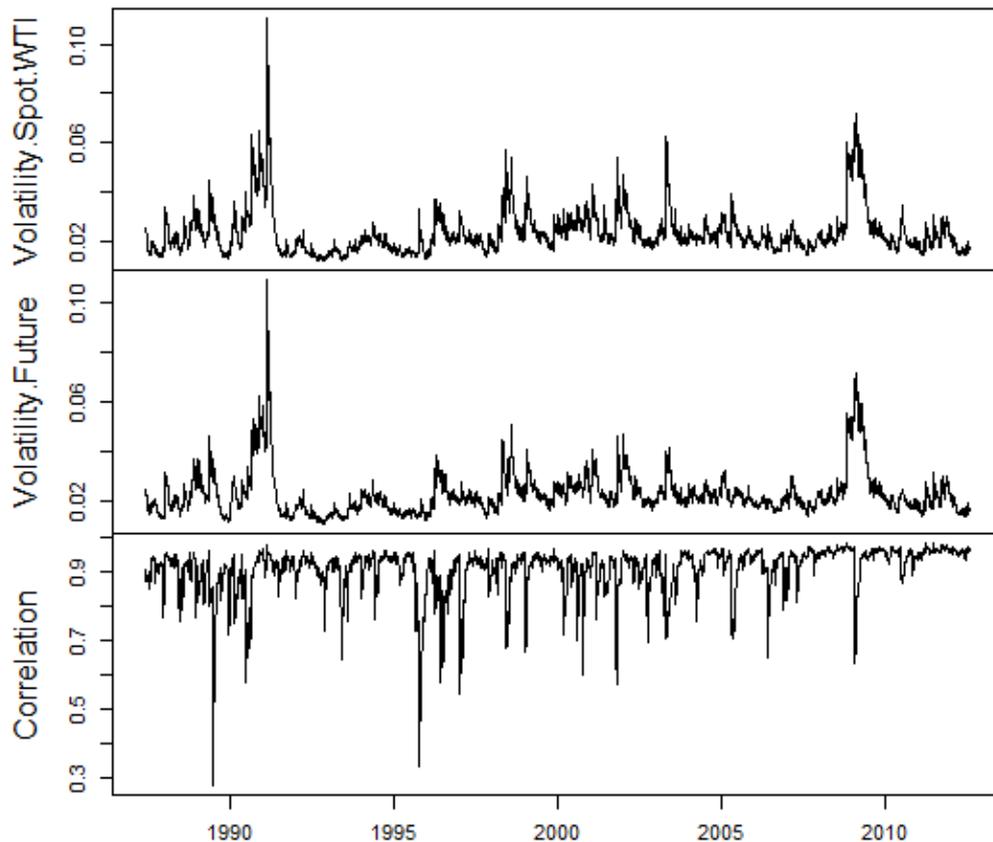


Figura 10 – Volatilidade e correlação condicional dinâmica estimada entre os preços à vista e futuros do WTI.

Fonte: Dados da pesquisa

A correlação entre estes dois ativos apresenta valor muito próximo de 1 em períodos estáveis, mas diminui muito rápido durante as crises. Em alguns momentos a queda na correlação precede os picos de volatilidade, o que pode ser facilmente observado durante a Primeira Guerra do Golfo (agosto de 1990), os ataques terroristas (setembro de 2001), a segunda Guerra do Golfo (março de 2003), entre outros. Essa dinâmica indica que quando o mercado está instável esses ativos têm sua associação enfraquecida. Tendo em conta que os investidores olham para o mercado futuro para orientar as negociações, a diminuição da

correlação pode tornar mais difícil prever o comportamento dos ativos. Essa condição aumenta a incerteza e parece elevar a volatilidade.

Aplicando as equações (38) a (43) pode-se verificar a ocorrência de cinco quebras estruturais na correlação condicional dinâmica entre estes ativos (Figura 6). A primeira ocorreu em fevereiro de 1991, originada pela Primeira Guerra do Golfo. A segunda ocorreu em julho de 1995 e a terceira ocorreu em março de 1999, devido a práticas restritivas da OPEP. A Segunda Guerra do Golfo gera mais uma quebra no final de julho de 2003. A última interrupção ocorreu em maio de 2007. A existência de quebras estruturais significa que a relação entre o preço à vista e futuro do petróleo não apresenta uma avaliação estável ao longo do tempo. Neste sentido, as mudanças inesperadas na correlação fornecem obstáculos à gestão de risco, devido à eficiência limitada de estratégias de hedge contra estes fenômenos.

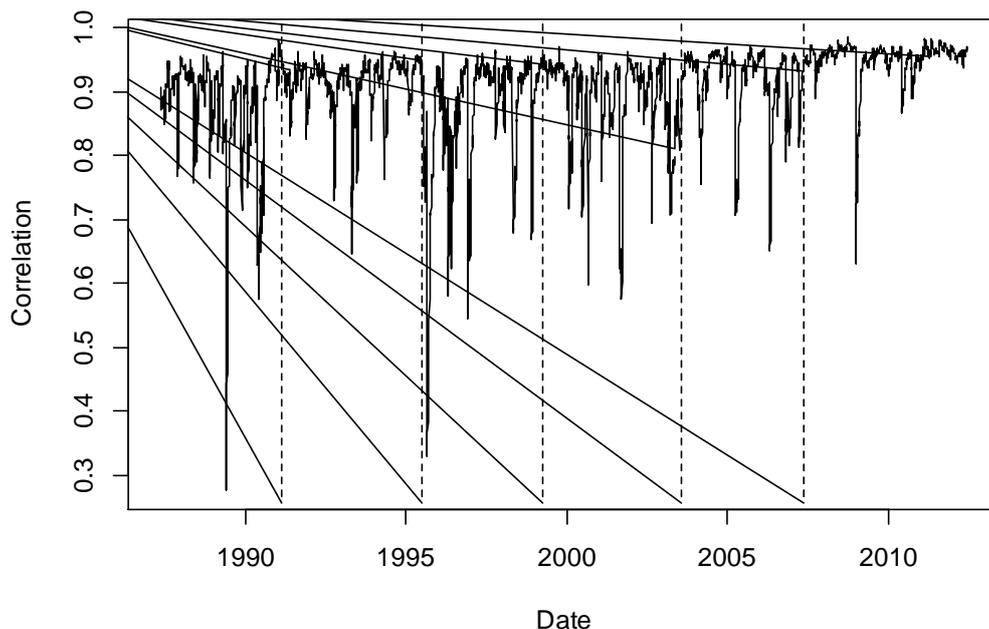


Figura 11 – Quebras estruturais na correlação condicional dinâmica entre os preços à vista e futuros do WTI.

Nota: As linhas pontilhadas marcam os pontos de ocorrência de quebras estruturais

Fonte: Dados da Pesquisa.

Aplicando a *Wavelet* Daubechies LA (8) a correlação condicional dinâmica é decomposta em doze frequências. (D1 a D12) para extrair seus componentes e revelar informações adicionais. Após a decomposição, os testes de quebra estrutural são refeitos.

Como pode-se verificar, nos componentes de alta frequência (D1 a D6), a hipótese nula não pode ser rejeitada o que indica a ausência de quebras estruturais (Figura 11).

Estes componentes apresentam um comportamento suave, com pouca oscilação, indicando que a correlação condicional dinâmica de curto prazo é mais estável, não apresentando quebras.

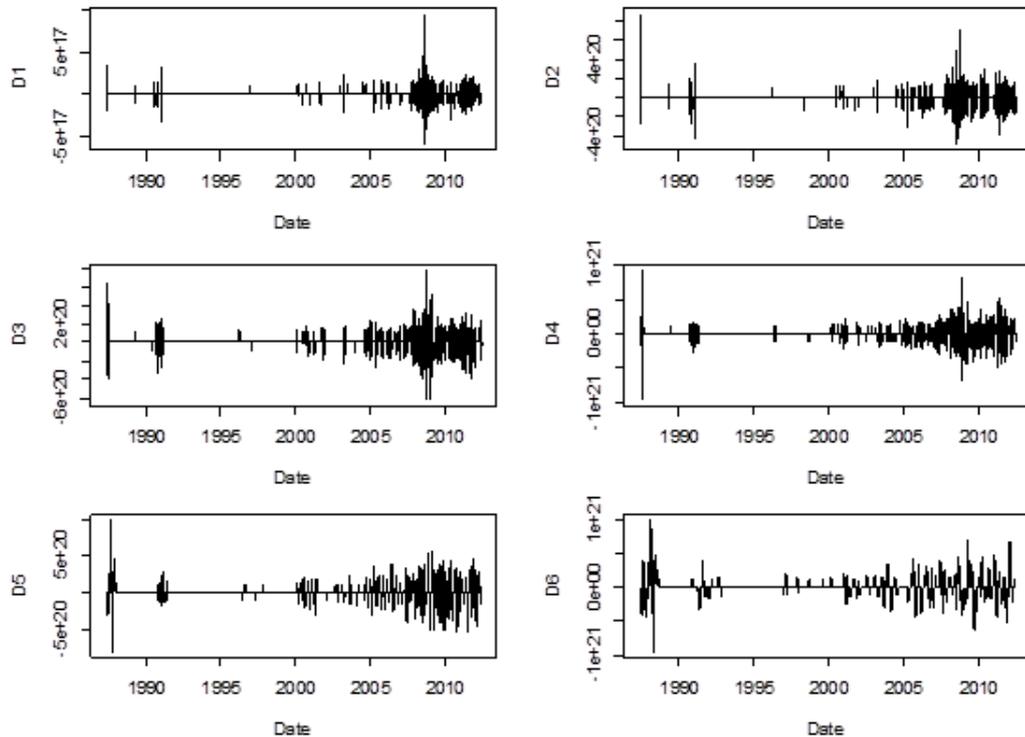


Figura 12 – Decomposição da correlação condicional dinâmica: frequências D1 a D6.

Fonte: Dados da pesquisa

As series D7 a D12 representam os componentes de baixa frequência, os componentes que se espalham por longos períodos ao longo da série original. Como pode ser verificado, nestas frequências a oscilação é maior, e os testes indicam a presença de quebras estruturais em todas elas (Figura 12).

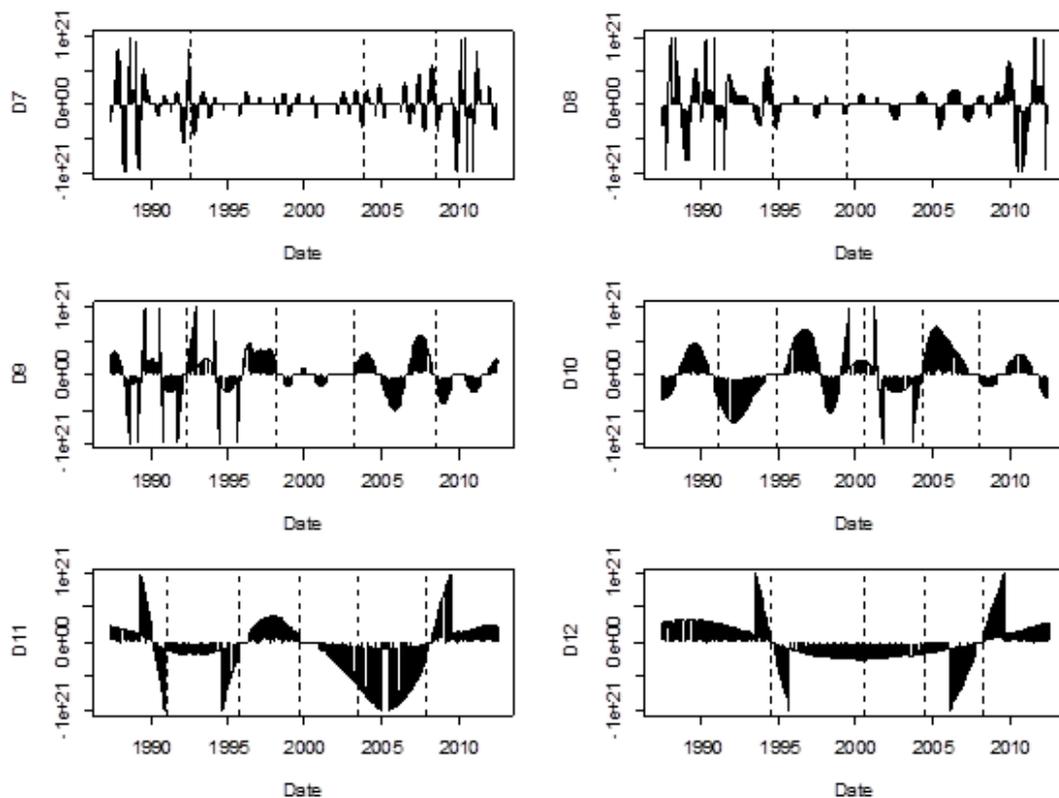
Tabela 8 – Resultados dos testes de quebras estruturais.

	<i>CUSUM</i>		<i>MOSUM</i>		<i>SupF</i>		<i>AveF</i>		<i>ExpF</i>	
	Estat.	p-val.	Estat.	p-val.	Estat.	Estat.	Estat.	p-val.	Estat.	p-val.
DCC*										
D7	2.727	0.000	2.756	0.010	44.766	0.001	8.030	0.001	17.010	0.001
D8	3.732	0.000	4.089	0.010	59.841	0.001	15.461	0.001	25.016	0.001
D9	4.768	0.000	6.275	0.010	170.858	0.001	36.774	0.001	80.353	0.001
D10	11.506	0.000	13.309	0.010	698.471	0.001	207.220	0.001	343.931	0.001
D11	12.079	0.000	17.023	0.010	1205.5	0.001	275.234	0.001	596.838	0.001
D12	19.177	0.000	11.079	0.010	2531.98	0.001	693.734	0.001	>1000.000	0.001

Nota: * indica correlação condicional dinâmica antes da decomposição por Wavelets.

Fonte: Dados da pesquisa

A decomposição por Wavelets separa os componentes da série em faixas de frequência. Sendo assim pode-se observar que os testes de quebra indicam que estas estão presentes nos componentes de baixa frequência e não nos de alta frequência (Tabela 8).

**Figura 13** – Quebras estruturais na correlação condicional dinâmica em D6 a D12.

Nota: As linhas pontilhadas marcam os pontos de ocorrência de quebras estruturais

Fonte: Dados da pesquisa.

Os filtros *Wavelets* revelam o caráter variável das quebras estruturais. Elas são originadas pelo mesmo evento que causou as quebras na correlação condicional dinâmica original (antes da decomposição, Figura 7); entretanto estão localizadas em datas próximas a estas. Isto pode ser observado na série original e em D10 e D11. Neste caso pode-se observar que a quebra estrutural gerada pela Primeira Guerra do Golfo e fevereiro de 1991. Em D9 podemos observar a mesma quebra, originada pelo mesmo evento, no entanto ela se manifesta em 21 de abril de 1992. Todas estas quebras tiveram a mesma origem, a instabilidade gerada pela Primeira Guerra do Golfo, mas a consequência e a data de ocorrência desta quebra é diferente em cada frequência.

Em D8, D10 e D12 pode-se verificar a detecção de uma nova quebra em 27 de julho de 1994, 20 de setembro de 1994 e 26 de julho de 1994, respectivamente (Tabela 8). A mesma quebra aparece em diferentes datas mostrando que seus efeitos são diferentes em cada frequência.

Tabela 9 – Datas de ocorrência das quebras estruturais nas frequências da correlação condicional dinâmica entre os preços à vista e futuros do WTI.

Frequência	Número de Quebras estruturais	Data de ocorrência das quebras.
DCC *	5	13/02/1992; 22/06/1995; 26/03/1999; 30/07/2003; 10/05/2007.
D7	3	03/09/1992; 12/12/2003; 07/06/2008.
D8	2	27/07/1994; 17/07/1999.
D9	4	21/04/1992; 23/03/1998; 27/03/2003; 13/06/2008.
D10	5	14/02/1991; 20/09/1994; 26/06/2000; 04/04/2004; 22/02/2008.
D11	5	14/02/1991; 08/11/1995; 12/08/1999; 30/05/2003; 15/11/2007.
D12	4	26/06/1994; 18/08/2000; 04/06/2004; 29/05/2007.

Note: * Indica a correlação condicional dinâmica original, antes da decomposição por *Wavelets*.
Fonte: Dados da Pesquisa.

Esta importante contribuição dada pela filtragem por *Wavelets* mostra que o ponto de quebra estrutural não é estático para toda e qualquer análise, ele se move, dependendo da frequência e do horizonte temporal. Este comportamento pode ser visto novamente na quebra originada pela Segunda Guerra do Golfo. Na série original os testes indicam a existência de uma quebra em 30 de julho de 2003. Entretanto em D7, D9 e D11, ela ocorre em 12 de Dezembro de 2003, 27 de março de 2003 e 30 de maio de 2003 respectivamente.

O período turbulento iniciado em 2007 pela crise sub-prime teve um impacto diferente em cada frequência. Na série original pode ser observada a ocorrência de uma quebra em 10 de maio de 2007, porém este período de instabilidade não gerou uma quebra estrutural na correlação condicional dinâmica entre WTI à vista e Futuro fixa no tempo. Esta quebra aparece em D&, D9, D10, D11 e D12 em 7 de junho de 2008, 13 de junho de 2008, 22 de junho de 2008, 15 de novembro de 2007 e 29 de maio de 2007 respectivamente; reforçando o caráter variável das quebras estruturais.

Conforme observado por Login & Solnik (2001), os picos de volatilidade de uma série contém uma grande quantidade de informação gerada em um período turbulento pela grande especulação, aumento do número de negociações e diversas forças que impactam no mercado. As *Wavelets* são capazes de isolar esta informação em componentes frequenciais. Especificamente na análise da correlação entre o WTI à vista e Futuro as quebras estão presentes nos componentes de baixa frequência e cada quebra se manifesta em um ponto diferente para cada investidor, dependendo dos prazos de negociação.

Este comportamento deve ser considerado pelos agentes do mercado, pois suas estratégias, análises de risco e por consequência, seus lucros, são afetados por estas quebras. Sendo assim a utilização do método *Wavelets* pode fornecer informações importantes, revelando localizações diferentes para cada quebra estrutural e ajudando a compreender seus efeitos.

5 CONCLUSÕES.

Após o choque nos preços do petróleo em 1973, o comportamento desses preços tornou-se de preocupação diária para governos e investidores. A negociação de petróleo bruto também mudou, atraindo inúmeros tipos de participantes do mercado, não apenas as partes com interesses comerciais, mas também aqueles que tratam de óleo como uma forma de investimento.

A importância de medir a volatilidade não pode ser ignorada. Porém igualmente importante, é compreender como a volatilidade é transmitida entre mercados e ativos. Nos mercados de petróleo, os agentes tem muitas vezes exposição a um grande número de diferentes tipos de petróleo bruto, com preços e volatilidades variadas possibilitando que construam carteiras formadas por diferentes variedades dessa commodity.

O estudo da volatilidade tem diversas aplicações em finanças como composição de carteiras, determinação de razões de hedge entre outras. A modelagem da volatilidade proporciona uma abordagem simples na determinação do valor em risco (Value at Risk, VaR), de uma posição financeira na gestão do risco. Além disso, a volatilidade tem um importante papel na alocação de ativos na estrutura de utilidade de média-variância. Mais além, modelar a volatilidade de uma série temporal pode elevar a eficiência na estimação dos parâmetros, bem como a precisão em um intervalo de previsões.

No desenvolvimento deste estudo foi empregado o método de filtragem *Wavelets*. Este método tem se mostrado uma ferramenta ideal para se lidar com as características variáveis no tempo, encontradas na maioria das séries temporais. A função básica desta metodologia é decompor um processo em diferentes horizontes de tempo e dessa forma revelar comportamentos antes ocultos, como sazonalidades, quebras estruturais e clusters de volatilidade. Dessa forma é possível identificar propriedades locais e globais do processo nessas escalas de tempo. Além disso, filtros *Wavelets* podem proporcionar uma maneira conveniente de dissolver estruturas de correlação de um processo através das escalas de tempo.

Quando analisada a transmissão de volatilidade entre OPEP e não-OPEP, as séries decompostas apresentam um comportamento diferente das séries originais. A decomposição por *Wavelets* revela que a volatilidade do petróleo bruto não se mantém isolada no evento, ela é capaz de contaminar os períodos seguintes. Isso significa que, considerando períodos mais

longos de observação, uma vez que a série é gravemente perturbada por más notícias, a volatilidade não volta ao nível anterior. Este resultado pode trazer novas informações para os agentes do mercado de petróleo. Investidores de longo prazo podem estar sujeitos aos efeitos da volatilidade por longos períodos, enquanto os investidores de curto prazo estão sujeitos apenas à volatilidade localizada. Isso não significa que os investidores de curto prazo são menos expostos ao risco, mas significa que os investidores de longo prazo devem monitorar os eventos por períodos mais longos.

Além disso, a análise da correlação entre OPEP e não-OPEP nas frequências da volatilidade sugere que quanto mais baixa maior a correlação. Esta evidência mostra que a correlação, além de forte, não é constante ao longo do tempo e aponta para a existência de mecanismos de ajustamento de volatilidade. No curto prazo, a volatilidade não é a mesma para a os petróleos OPEP e não-OPEP, no entanto, podemos dizer que, no longo prazo, a volatilidade se espalha para os dois óleos contaminando-os igualmente.

Os testes de causalidade apontam que para todas as oito frequências analisadas a hipótese nula, (OPEP não causa não-OPEP e não-OPEP não causa OPEP) são rejeitados, mostrando fortes relações bi-causais entre OPEP e não OPEP. Isto significa que a OPEP e não-OPEP influenciam-se mutuamente, e nenhum deles tem poder suficiente para por si só determinar a volatilidade do mercado. Este resultado corrobora com os estudos de Malik e Hammoudeh (2007) e Ewing e Malik (2013) sugerindo que os choques fazem a volatilidade “transbordar” de um país para outro, apontando para uma forte integração dos mercados internacionais.

Os resultados dos testes de quebras estruturais nas frequências da correlação condicional dinâmica entre os preços à vista e Futuro do petróleo WTI mostram que as quebras estão presentes nos componentes de baixa frequência. Elas podem ser visualizadas em D7 a D12 indicando que a volatilidade possui componentes que se espalham por longos períodos ao longo da série original.

Os filtros Wavelets revelam o caráter variável das quebras estruturais. Elas são originadas pelo mesmo evento que causou as quebras na correlação condicional dinâmica original, entretanto estão localizadas em datas próximas a estas. Esta importante contribuição dada pela filtragem por Wavelets mostra que o ponto de quebra estrutural não é estático para toda e qualquer análise, ele se move, dependendo da frequência e do horizonte temporal.

Este comportamento deve ser considerado pelos agentes do mercado, pois suas estratégias, análises de risco e por consequência, seus lucros, são afetados por estas quebras. Sendo assim a utilização do método Wavelets pode fornecer informações importantes,

revelando localizações diferentes para cada quebra estrutural e ajudando a compreender seus efeitos.

Apesar de o método de *Wavelets* ser amplamente utilizado em diversas áreas do conhecimento, sua aplicação em finanças ainda é recente. Há poucos estudos que aplicam esta metodologia para compreender a volatilidade do petróleo. Desta forma a comparação com resultados de outros pesquisadores é limitada.

Outra limitação deste estudo vem do fato da análise de transmissão da volatilidade entre OPEP e não-OPEP ser baseada em médias semanais. Apesar de serem fornecidas pela EIA, que possuem as principais bases de dados sobre energia no mundo, por serem médias podem apresentar distorções em determinados momentos.

6 PERSPECTIVAS.

Tendo em vista os resultados obtidos com esse trabalho, as perspectivas para trabalhos posteriores são:

- Simulação de oscilações na volatilidade do petróleo;
- Avaliar o efeito dos movimentos ciclos nos preços do petróleo;
- Verificação da transmissão da volatilidade entre o petróleo e seus derivados;
- Simulação de crises financeiras para verificar sua influência na volatilidade do petróleo.

REFERÊNCIAS

ADELMAN, M. A. Is the world oil market ‘one great pool’? – Comment. **Energy J.** 13 (1), 157–158. 1992.

ALVAREZ-RAMIREZ, J. ALVAREZ, E. RODRIGUEZ, G. FERNANDEZ-ANAYA, Time-varying Hurst exponent for US stock markets, **Physica. A** 387 (2008) 61596169.

BACHMEIER, L. J., GRIFFIN, J. M., 2006. Testing for market integration crude, oil, coal, and natural gas. **Energy J.** 27 (2), 55–71.

BALCOMBE, B. K.; MORRISON, J. **Commodity price transmission: a critical of techniques and an application to select tropical export commodities.** Roma: FAO, 2002.

BENTZEN, J.. Does OPEC influence crude oil prices? Testing for co-movements and causality between regional crude oil prices. **Applied Economics.** v. 39, Issue 11, 2007.

BOLLERSLEV, T. Generalized autoregressive conditional heterosdasticity. **Journal of Econometrics.** 31, 307–327, 1986.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C. **Principios de finanças empresariais.** 8.ed. Madrid : McGraw-Hill Interamericana de España, 2007. [BP 658.15 BRE]

BROCK, W. A. Whinther nonlinear? **Journal of Economic Dynamics and Control**, 24, 663-678. 2000.

BUBAK, V., KOCENDA, E., ZIKES, F. **Volatility transmission in emerging European foreign exchange markets.** 35, 2829–2841. 2011.

CAMPBELL, C. J. **Oil Crisis.** Multi-Science Publishing Co. Ltd. 2005.

CAPOBIANCO, E. **Physica Empirical volatility analysis: feature detection and signal extraction with function dictionaries** A319 (2003) 495 – 518.

CHEUNG, C. S., KWAN, C., 1992. A note on the transmission of public information across international stock markets. **J. Bank. Finance.** 16, 831–837.

CHRISTOFFERSEN, P. F. **Elements of Financial Risk Management.** 2.ed. Oxford: Elsevier, 2012.

DARBAR, S. M., DEB, P. Co-movements in international equity markets. **J. Financ. Res.** 20, 305–322. 1997.

DING, Z.; GRANGER, C.; ENGLE, R. A long memory property of stock market returns and a new model. **Journal of Empirical Finance**, n. 1, 83–106, 1993.

DOI 10.1007/978-3-7908-2607-4_1, # Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010.

ENGLE, R. Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of U.K. inflation. **Econometrica**, n. 50, 987–1008, 1982.

ENGLE, R. F., GRANGER, C. W. J. Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. **Econometrica**, 55, 251–276. 1987.

ENGLE, R. F., Susmel, R., 1993. Common volatility in international equity markets. **J. Bus. Econ. Stat.** 11, 167–176.

EWING, B. T., HARTER, C. L., Co-movements of Alaskan North Slope and UK Brent crude oil prices. **Appl. Econ. Lett.** 7, 553–558. 2000.

FACKLER, P. L; GOODWIN, B. K. Spatial price transmission. In: GARDNER, B.; RAUSSER, G. (Eds.). **Handbook of agricultural economics**. Amsterdam: Elsevier, 2001.

GENÇA, Y, R., SELÇUK, F., WHITCHER, B., **An introduction to wavelets and other filtering methods in finance and economics**. San Diego: Elsevir, 2002.

GLOSTEN, L.; JAGANNATHAN, R.; RUNKLE, D. On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. **Journal of Finance**, n. 48, 1779–1801, 1993.

GOODHART, C., The international transmission o asset price volatility. In: EISNER, R., GRAMELY, L. (Eds.), **Financial Market Volatility**. Federal Reserve Bank of Kansas City. 1988.

GRANGER, C. W. J. Invetigating causal relations by econometric models. **Econometrica**, 37, 424 - 438. 1961.

GULEN, S. G., Regionalization in the world crude oil market: further evidence. **Energy J.** 20 (1), 125–139. 1999.

HAMAO, Y., MASULIS, R. W., NG, V. Correlations in price changes and volatility across international stock markets. **Rev. Financ. Stud.** 3, 281–307. 1990.

HANSEN, P. R., A test for superior predictive ability. **J. Bus. Econ. Stat.** 23, 365–380. 2005.

HE, Y.; WANG, S.; LAI, K. K. Global economic activity and crude oil prices: a cointegration analysis **Energy Economics**, 32 pp. 868–876, 2010.

HONG, Y. A. Test for volatility spillover with application to exchange rates. **Journal of Econometrics**, 103), pp. 183–224, 2001.

HULL, J. C. **Risk Management and Financial Institutions**. 1st Edition. Pearson-Prentice Hall, 2007.

HULL, John. **Risk Management and Financial Institutions,+Web Site**. John Wiley & Sons, 2012.

JAMMAZI, R., ALOUI, C. Wavelet decomposition and regime shifts: Assessing the effects of crude oil shocks on stock market returns. **Energy Policy**. 38 (2010) 1415–1435.

JIN, X., LIN, S. X.; TAMVAKIS, M.; JIN, X. et al. Volatility transmission and volatility impulse response functions in crude oil markets. **Energy Economics**, 34 (2012) 2125–2134

KAABIA, O., ABID, I., GUESMI, K. Does Bayesian shrinkage help to better reflect what happened during the subprime crisis? **Economic Modelling**, 31, 423–432. 2013.

KALMAN R. E. and BUCY, R. New results in linear filtering and prediction. **ASME-Journal of Basic Engineering**, 82 (1960), 35-45.

KALMAN, R. E.. A new approach to linear filtering and prediction. Transactions of the **ASME-Journal of Basic Engineering**, 82 (1960), 35-45.

KANG, S. H. et al. Structural changes and volatility transmission in crude oil markets / **Physica**. A390 (2011) 4317–4324.

KAROLYI, A. A multivariate GARCH model of international transmission of stock returns and volatility. **J. Bus. Econ. Stat.** 13, 11–25. 1995.

KIM, S. W., ROGERS, J. H. International stock price spillovers and market liberalization: evidence from Korea, Japan, and the United States. **J. Empirical Finance**. 2, 117–133. 1995.

KING, M. A., SENTANA, E., WADHWANI, S., 1994. Volatility and links between national stock markets. **Econometrica**, 62, 901–933.

KING, M. A., SENTANA, E., WADHWANI, S., 1994. Volatility and links between national stock markets. **Econometrica**. 62, 901–933.

KRUGMAN, P. R.; OBSTFELD, M. **International economics: theory and policy**. 5. ed. Massachusetts: Addison Welsley, 2005.

KWIATKOWSKI, D.; P. PHILLIPS, C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. ‘Testing the null of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root?’, **Journal of Econometrics**. 54: 159–178. 1992.

LIN, W., ENGLE, R. F., ITO, T., 1994. Do bulls and bears move across borders? International transmission of stock returns and volatility. **Rev. Financ. Stud.** 7, 507–538.

LIU, R., NARAYAN, P. K. **A new structural break unit root test based on a GARCH model**. 2010.

LOGIN, F.; SOLNIK, B. **Extreme Correlation of International Equity Markets**. The Journal of Finance. 2001

HIBBELN, M., **Risk Management in Credit Portfolios**, Contributions to Economics, New York, Springer, 2010.

MALIK, F.; HAMMOUDEH, S. Shock and volatility transmission in the oil, US and Gulf equity markets **International Review of Economics and Finance** 16 (2007) 357–368.

MARKOWITZ H. Portfolio Selection. **Journal of Finance**. 7, 77-91, 1952.

MORLET, J., ARENS, G., FOURGEAU, E., and GIARD, D. Wave propagation and sampling theory—Part I: complex signal and scattering in multilayered media, **Geophysics**, 47, 203–221. 1982.

MUNDLAK; Y; LARSON, D. F. On the transmission of world agricultural prices. **The World Bank Economic Review**, v.6, n.3, p. 399-422, 1992

NARAYAN, P. K.; POPP, S. A new unit root test with two structural breaks in level and slope at unknown time. **Journal of Applied Statistics**. 37 (9), 1425–1438. 2010.

NASON, G. P. Stationary and non-stationary time series, in MADER, H. and COLES. S.(eds.), **Statistics in Volcanology**, pp. 129–142, Geological Society of London, London. 2006.

NASON, G. P., **Wavelets Methods in Statistics with R**. New York: Springer, 2008.

NELSON, D. Conditional heteroskedasticity in asset pricing: A new approach. **Econometrica**, n. 59, 347–370, 1991.

NG, V. K.; CHANG, R. P.; CHOU, R. Y., 1991. An examination of the behavior of Pacific basin stock market volatility. In: RHEE, S. G., CHANG, R. (Eds.), **Pacific Basin Capital Markets Research**, vol. II. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

NISHIYAMA Y., The term structure of CD rates and monetary policy transmission. **Journal of Banking & Finance**. 35, 82–94, 2011.

PAGAN, A. Econometric issues in the analysis of regressions with generated regressors. **International Economic Review**, 25, 221–247. 1984.

RAMSEY, J. B. and ZHANG, Z. F. The analysis of foreign exchange data using wave form dictionaries. **Journal of Empirical Finance**, 4, 341-372. 1997.

REMSEY, J. B., and LAMPART, C. The decomposition of economic relationships by timescale using wavelets: Money and Income. **Macroeconomic Dynamics**, 2, 49-71, 1997.

REMSEY, J. B., and ZHANG, Z. The analysis of foreign exchange data using wave form dictionaries. **Journal of Empirical Finance**, 4, 341-372. 1997.

SALISU, A. A.; FASANYA, I. O. Modelling oil price volatility with structural breaks. **Energy Policy**, 52 554–562, 2013.

SOUZA E SILVA, E. G. de et al. **Forecasting oil price trends using wavelets and hidden Markov models** Energy Economics, 32 (2010) 1507–1519.

STOKES, H. H., NEUBURGER, H. M., 1998. **New Methods in Financial Modeling: Explorations and Applications**. Quorum Books, Westport, CT.

THEODOSSIOU, P., LEE, U., 1993. Mean and volatility spillovers across major national stock markets: further empirical evidence. **J. Financ. Res.** 16, 337–350.

TSAY, R., S., **Analysis of Financial Time Series**. 3 ed. New Jersey. John Wiley & Sons, 2008.

WANG, Z. Dynamics and causality in industry-specific volatility. **Journal of Banking & Finance** 34 1688–1699, 2010.

WEI, Y., WANG, Y. D., HUANG, D. S. Forecasting crude oil market volatility: further evidence using GARCH-class models. **Energy Economics**. 32 (6), 1477–1484. 2010.

WEINER, N., **Extrapolation, Interpolation, and Smoothing of Stationary Time Series**. Wiley, New York. 1949.

YANG, C.W. et al._ An analysis of factors affecting price volatility of the US oil market. **Energy Economics**. 24 (2002) 107_119.

YANG, J.; GUO, H.; WANG, Z. 2006. International transmission of inflation among G-7 countries: A data-determined VAR analysis. **Journal of Banking & Finance** 30 (2006) 2681–2700.