



**RELAÇÃO ENTRE O PREÇO DO PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS COM
O USO DO *ENSEMBLE EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION***

***RELATIONSHIP BETWEEN THE PRICE OF PETROLEUM AND ITS DERIVATIVES
WITH THE USE OF ENSEMBLE EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION***

Fernanda Alves Lamberti

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
lamberti@hotmail.com

Vanessa Rabelo Dutra

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
vanessardg@gmail.com

Paulo Fernando Marschner

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
paulofernandomarschner@hotmail.com

Paulo Sergio Ceretta

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
cereta10@gmail.com

Resumo

O objetivo deste trabalho, é analisar a relação entre o preço do petróleo dos tipos *West Texas Intermediate* (WTI) e Brent, e seus derivados (propano, gasolina e diesel) durante o período de 04 de janeiro de 2010 à 25 de abril de 2016. As séries temporais foram obtidas à junto a divisão de pesquisa do *Federal Reserve Bank of St. Louis* (2016) e analisadas a partir do *Ensemble Empirical Mode Decomposition* proposto por Wu e Huang (2004) onde foram decompostas em sete modos intrínsecos independentes e um resíduo, e reagrupadas em séries de alta e baixa frequência, e uma série de tendência. Posteriormente, foi empregada uma análise de correlação para verificar a força de associação entre os preços do petróleo bruto e seus derivados. Os principais resultados sugerem que os preços do petróleo dos tipos WTI e

Brent e seus derivados são principalmente compostos pela série de tendência, e que o preço do propano é o que menos se relaciona com os preços do petróleo.

Palavras-chave: Petróleo. Derivados. *Ensemble Empirical mode Decomposition*.

Abstract

The objective of this work is to analyze the relationship between the West Texas Intermediate (WTI) and Brent oil prices and their derivatives (propane, gasoline and diesel) during the period from January 4, 2010 to April 25, 2016. The time series were obtained from the research division of the Federal Reserve Bank of St. Louis (2016) and analyzed from the Ensemble Empirical Mode Decomposition proposed by Wu and Huang (2004) where they were decomposed into seven independent intrinsic modes and one and regrouped in high and low frequency series, and a series of trends. Subsequently, a correlation analysis was used to verify the strength of association between the prices of crude oil and its derivatives. The main results suggest that oil prices of the WTI and Brent types and their derivatives are mainly composed of the trend series, and that the price of propane is least related to oil prices.

Keywords: *Petroleum. Derivatives. Ensemble Empirical mode Decomposition.*

1. Introdução

Desde as primeiras proposições sobre a relação entre o preço do petróleo e a atividade econômica propostas por Hamilton (1983) um número expressivo de pesquisadores se dedicou a explorar a conexão entre as variações do seu preço e seus reflexos nas atividades econômicas globais. De acordo com Zhang, Lai e Wang (2008) o petróleo é um recurso conhecido pelas grandes oscilações de preços, onde elevações geralmente ocasionam um aumento da inflação, e prejudicam a economia dos países importadores. E quedas, costumam ocasionar recessões econômicas e instabilidade política nos países exportadores, já que seu desenvolvimento econômico pode ser retardado. Além dos níveis de preços, outro fator relevante é sua volatilidade, uma vez, que um aumento relativamente pequeno pode ocasionar perdas econômicas consideráveis (Sauter & Awerbuch, 2003; Rotemberg & Woodford, 1996).

Um ponto que cabe ser destacado, é que as variações do preço do petróleo são influenciadas por diversos fatores. De acordo com Stevens (1995) a dinâmica entre oferta e demanda é um dos principais fatores que afeta o movimento de preços, que também é sensível

à fatores exógenos como o clima e eventos irregulares (Zhang, Yu, Wang & Lai, 2009) e ainda à aspectos políticos, e às expectativas psicológicas das pessoas (Yu, Wang & Tang, 2015). Tais fatores fazem com que o movimento do preço seja não-linear e não-estacionário, o que torna sua análise uma importante estratégia para importadores, exportadores, investidores e governos (Latif & Herawati, 2016).

Embora os preços do petróleo bruto tenham sido historicamente um componente fundamental para análise econômica, Sathler e Tolmasquim (2001) sugerem que a variação de preços de seus derivados também afetam a economia e a política de um país. O autor sugere que no Brasil, por exemplo, estes preços são base para tomada de decisão de muitas empresas, visto que o preço do combustível é incorporado no preço de uma infinidade de produtos e serviços oferecidos. Com foco em tal perspectiva, torna-se pertinente entender como os preços do petróleo bruto se relacionam com seus derivados.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho, é analisar a relação entre o preço do petróleo dos tipos *West Texas Intermediate* (WTI) e Brent, e alguns derivados (propano, gasolina e diesel) durante o período de 04 de janeiro de 2010 à 25 de abril de 2016. Para atingir o objetivo proposto, desenvolveu-se uma pesquisa a partir do *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD), proposto por Wu e Huang (2004). Tal procedimento tem como finalidade decompor uma série temporal em modos intrínsecos independentes, e em séries de frequência e tendência afim de verificar qual destas melhor determina o comportamento da série original. Posteriormente, foi empregada uma análise de correlação para verificar a força de associação entre os preços do petróleo bruto e seus derivados.

O presente estudo amplia a literatura existente, examinando empiricamente a relação entre o preço do petróleo e seus derivados. Tal perspectiva torna-se relevante, na medida em que o preço do petróleo e de seus derivados são base para a tomada de decisões em muitos países. No Brasil, por exemplo, um país com vasta malha rodoviária, evidencia-se uma preocupação com a volatilidade destes preços, uma vez, que esta variação afeta diretamente no preço final de diversos produtos, fazendo com que a população sinta de forma direta este efeito (Almeira, Oliveira & Losekann, 2015; Silva & Ferraro, 2017). Em termos práticos, o conhecimento do nível de associação entre os preços destes produtos pode ajudar na antecipação e formulação de estratégias para empresas e consumidores.

A estrutura deste artigo é composta além desta introdução, por quatro seções. Começando por uma revisão de literatura, seguida pelos aspectos metodológicos, pela análise dos resultados e, por fim, as considerações finais do estudo.

2. Revisão de literatura

A ideia de que as mudanças nos preços do petróleo são cada vez mais significativas e influenciam consideravelmente as economias mundiais é geralmente aceita e recebeu considerável atenção. Figuram nesse contexto diversas abordagens, concentradas principalmente sob a ótica financeira, econômica e energética. Sob a ótica financeira, Naifar e Dohaiman (2013) sugerem que a alta variação do preço do petróleo o torna um fator macroeconômico primário, o que pode contribuir na estabilidade financeira global. Do ponto de vista econômico, Hamilton (2003) argumenta que os choques dos preços do petróleo podem afetar o desempenho de um país devido a sua capacidade de perturbar a compra de bens para consumo, ou bens de investimento. E sob o prisma energético, Ding, King e Park (2016) salientam que apesar do advento das fontes alternativas de energia, o petróleo bruto ainda é uma fonte vital de energia para o mundo e indispensável para a produção de diversos produtos.

Existem na literatura diversas abordagens de pesquisas que utilizam o preço do petróleo como variável principal. Enquanto algumas analisaram a relação entre o preço do petróleo e variáveis macroeconômicas como a taxa de câmbio e inflação (Basher, Haug & Sadorsky, 2012; Tsai, 2012; Banikhalid, 2017), outras analisaram sua volatilidade, e empregaram métodos de previsão (Agnolucci, 2009; Kang, Kang & Yoon, 2009; Hou & Suardi, 2012; Bagchi, 2017). Outras abordagens, ainda focam na relação entre o preço do petróleo e o mercado de ações (Jones & Kaul, 1996; Sadorski, 1999; Ciner, 2001; Park & Ratti, 2008; Apergis & Miller, 2009; Arouri & Rault, 2011; Lee & Zeng, 2011), e na dinâmica entre seu preço, e o consumo/demanda de energia (Borenstein, Cameron & Gilbert, 1997; Chen, Finney & Lai, 2005; Vilar & Joutz, 2006; Hartley, Medlock & Rosthal, 2008; Lahiani, Miloudi, Benkraiem & Shahbaz, 2017).

Um ponto que cabe ser destacado, é que esta vasta literatura que analisa o preço do petróleo, se amparou metodologicamente, em diversas abordagens, as quais incluem: i) o estudo de eventos, ii) modelos autoregressivos, iii) técnicas de cointegração, iv) uso de cópulas, v) modelos de média móvel autorregressiva (ARMA), vi) modelos autorregressivos de heterocedasticidade condicional (ARCH) e suas ramificações, vii) redes neurais artificiais, viii) *support vector regression*, e a ix) regressão quantílica. Outra linha de estudos ainda incipiente, utilizam modelos de decomposição que são capazes de identificar além das variações de preços, quais fatores podem afetá-lo (Zhang, Lai & Wang, 2008; Latif & Herawati, 2016).

Utilizando dados do petróleo bruto WTI no período de janeiro 1946 a maio de 2006, Zhang, Lai e Wang (2008) utilizaram o EEMD para analisar as características da volatilidade do preço do petróleo bruto. Após decompor a série em vários modos intrínsecos independentes (IMF), verificou-se que o preço do petróleo bruto pode ser explicado como o composto de uma série de tendência. As elevações ou quedas do preço em longo prazo, são desencadeadas por eventos imprevisíveis, já as pequenas flutuações no curto prazo foram impulsionadas por atividades normais de mercado, ou alguns pequenos eventos que não exercem grande influência sobre os mercados de petróleo.

Ao considerar que eventos extremos geralmente exercem forte impacto sobre os mercados de petróleo, Zhang et al. (2009) analisaram do impacto de tais eventos sobre sua volatilidade a partir de uma abordagem de análise de eventos baseada em EMD. No método proposto, a série temporal é primeiro decomposta em vários IMFs, com diferentes escalas de tempo, a fim de capturar as variações causadas pelo evento extremo. Para operacionalização do modelo proposto, foram tomadas duas guerras como exemplos ilustrativos, a Guerra do Golfo Pérsico em 1991, e a Guerra do Iraque em 2003, respectivamente. Os resultados empíricos revelaram que o método de análise de eventos baseado em EMD fornece uma solução viável para estimar o impacto de eventos extremos na variação dos preços do petróleo bruto, a partir de uma perspectiva multiescalar.

A previsão dos preços do petróleo bruto, embora de grande relevância, é limitada devido as características de não-linearidade, e não-estacionariedade. Utilizando dados mensais dos preços do petróleo bruto WTI de janeiro de 1986 até janeiro de 2015, e do Petróleo Brent de maio de 1987 até janeiro de 2015, Latif e Herawati (2016) propõem uma previsão de preços usando uma combinação entre o EEMD e uma rede neural. Após realizada a previsão, os valores previstos foram comparados com os resultados de vários algoritmos de aprendizado de redes neurais, e uma vez que o valor de erro que foi menor do que os algoritmos, constatou-se que o método proposto possui uma capacidade satisfatória de previsão devido a sua capacidade de acomodar as características não-lineares e não-estacionários da série de preços do petróleo.

Embora existam evidências empíricas que justifiquem o uso do EEMD para a análise das séries do preço do petróleo, sabe-se por outro lado, que seus derivados também são extremamente relevantes no mercado. Como sugerido por Silva (2011) a importância do petróleo é indiscutível, contudo as mercadorias derivadas do petróleo, como óleos combustíveis (gasolina) e o diesel, são utilizados como insumos para funcionamento, produção e desenvolvimento de praticamente todas as atividades econômicas, o que as torna

igualmente relevantes. Em decorrência desta circunstância, torna-se fundamental compreender a relação entre o preço dessa *commodity* e seus derivados.

Desde o trabalho seminal de Borenstein et al. (1997) a relação entre os preços do petróleo e seus derivados parece ser assimétrica ao ponto de que, por exemplo, os preços da gasolina respondem mais rapidamente a aumentos do preço do petróleo, do que a diminuições. Evidência também verificada no diesel por Liu, Margaritis e Tourani-Rad (2010) que constataram um comportamento semelhante ao da gasolina. Embora esse fato empírico tenha sido investigado por diversos estudos (Bechmeier & Griffin, 2003; Chen, Finney & Lai, 2005; Honarvar, 2009) outros derivados como o propano, ainda encontram-se incipientes na literatura.

3. Dados e metodologia

Os dados utilizados neste estudo referem-se aos preços diários do petróleo bruto *West Texas Intermediate* (WTI) e Brent, e três de seus derivados, os quais incluem a gasolina, o diesel e o propano. As séries temporais foram obtidas à junto a divisão de pesquisa do *Federal Reserve Bank of St. Louis* (2016), e representam o período de 04 de janeiro de 2010 à 25 de abril de 2016, cada uma com 1675 observações. Para atingir o objetivo proposto, os dados foram analisados através do *software* R, e aconteceram em duas etapas. Inicialmente as séries temporais foram decompostas em sete séries de frequência cada e reagrupadas em séries de alta e baixa frequência, e uma série de tendência, e posteriormente foi analisada a força de associação entre o preço do petróleo e seus derivados através de uma análise de correlação. Para tal, foram delineados os procedimentos a seguir.

3.1 Empirical Mode Decomposition e Ensemble Empirical Mode Decomposition

Em séries temporais, a maioria dos métodos de modelagem encontra problemas diante de dados não-lineares e não-estacionários. O *Empirical Mode Decomposition* (EMD) proposto por Huang et al. (1998) é proposto especialmente para dados que apresentam tais características. O núcleo do EMD é decompor os dados em um pequeno número de modos intrínsecos independentes (IMF) baseados na escala de características locais, que é definida como a distância entre dois extremos locais sucessivos em EMD. Cada modo intrínseco derivado é dominado por escalas em um intervalo estreito. Assim, de acordo com a escala, as implicações concretas de cada modo podem ser identificadas. Por exemplo, um modo intrínseco derivado de uma série temporal econômica com uma escala de três meses pode frequentemente apresentar o componente sazonal. Como os dados são o único link que há

com a realidade, ao explorar os modos intrínsecos dos dados, o EMD não apenas ajuda a descobrir suas características, mas também ajuda a entender as regras subjacentes da realidade.

Para obter os IMFs seguem-se os seguintes passos. Primeiramente, identificam-se todos os mínimos e máximos de uma série temporal, e denota-se a série original por $x(t)$. A seguir, é necessário gerar os envelopes superiores e inferiores ($E_{max}(t)$ e $E_{min}(t)$) com *spline* cúbico de interpolação, que nada mais é do que a interpolação dos pontos máximos locais e a interpolação dos pontos de mínimos locais. Após, é preciso calcular a média ponto a ponto, onde $m(t) = \frac{E_{max}(t)+E_{min}(t)}{2}$ e sequencialmente, extrair a média a partir da série temporal e definir a diferença de $x(t)$ e $m(t)$ como $d(t)$. Assim, tem-se que $d(t) = x(t) - m(t)$ e deve-se verificar as propriedades de $d(t)$:

- i) se $d(t)$ é IMF, substitui-se $x(t)$ pelo resíduo $r(t) = x(t) - d(t)$;
- ii) se $d(t)$ não é IMF, substitui-se $x(t)$ por $d(t)$.

Por fim, faz-se necessário repetir as etapas até um determinado critério de parada. O limite para o número de IMFs é dado por $\log N$, onde N é a quantidade de dados extraídos. A série original será dada pela soma das IMFs e do resíduo.

Uma função de modo intrínseco deve satisfazer os seguintes itens: i) a soma dos máximos e mínimos e as passagens por zero devem ser iguais ou diferirem no máximo por um. Em outras palavras, todos os máximos de um IMF devem estar acima do eixo- x e todos os mínimos abaixo; e ii) em qualquer ponto a média dos envelopes definidos pelos mínimos e máximos locais deve ser igual à zero. Observa-se que o primeiro item, é o que difere um IMF de um *Wavelets*, que embora sejam oscilações, não precisam necessariamente ter tal característica. Já o segundo item garante que a função será simétrica em relação ao eixo- x .

Embora o EMD apresente diversas vantagens, Wu e Huang (2009) indicam que este procedimento apresenta como limitação o aparecimento de *mode mixing*, ou seja, qualquer IMF que apresentar escalas díspares, deixará de ter significado físico. Para superar tal problema, os autores propõem o *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD) como um aperfeiçoamento do EMD, que apresenta como principal característica a adição de um ruído branco, que objetiva homogeneizar as escalas e facilitar a interpretação dos resultados.

Dessa forma, para desenvolver o EEMD, deve-se seguir os seguintes passos: i) inicialmente, deve-se adicionar uma série de ruídos brancos para os dados específicos, afim de

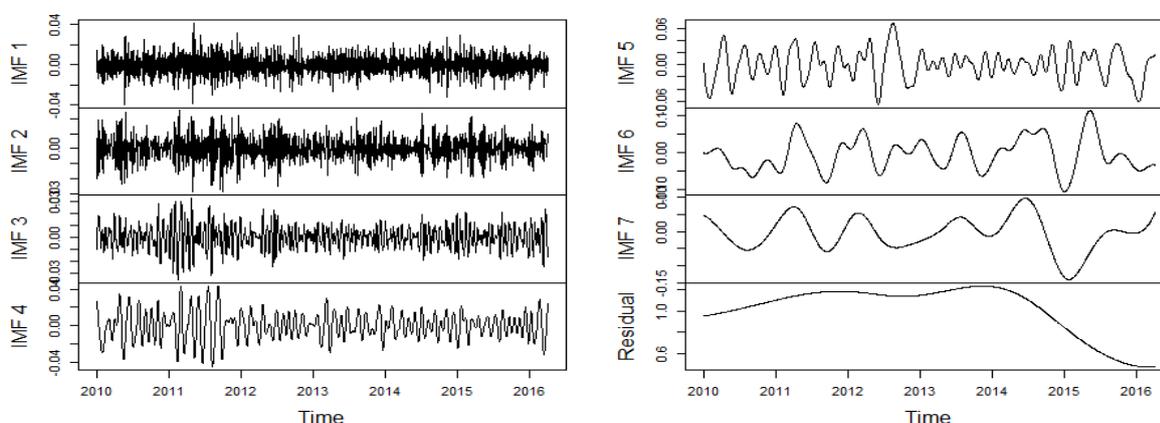
isolar a frequência de um determinado evento físico, ou seja, isolar o real significado de cada IMF; ii) deve-se decompor as séries em IMFs, seguindo os seis passos apresentados, anteriormente, no EMD; iii) após a realização das etapas previstas pelo método EMD, é necessário repetir as etapas i e ii de forma iterativa, mas com diferentes séries de ruído branco de cada vez, para então calcular o período médio das IMFs e observar quando o período apresenta um intervalo maior. Este ponto será o que distinguirá as IMFs que compõem as séries de alta e baixa frequência, e a série de tendência, onde as primeiras IMFs irão compor a série de alta frequência, as últimas irão compor a série de baixa frequência, e o resíduo será a série de tendência.

3.2 Análise de correlação

De posse das IMFs, e das séries de alta e baixa frequência, bem como das séries de tendência foi realizada uma análise da correlação entre as séries encontradas. O objetivo desta etapa, é verificar a força de associação entre as séries temporais resultantes da decomposição e as séries originais. Para esta etapa, interpretou-se o nível de associação de acordo com os coeficientes de correlação indicados por Hair, William, Babin e Anderson (2009).

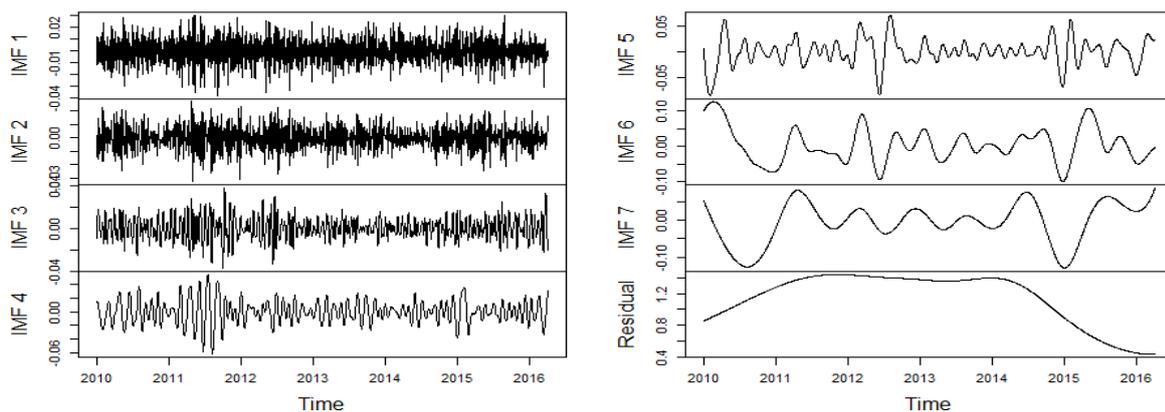
4. Análise de resultados

Inicialmente, cada uma das cinco séries temporais (WTI, Brent, Gasolina, Diesel e Propano) foram decompostas em sete funções de modo intrínseco (IMFs) e um resíduo. Observa-se que as IMFs são apresentadas da Figura 1a até a Figura 1e em ordem de maior frequência, onde é possível verificar que suas amplitudes variam de acordo com cada evento de influência que ocorre.



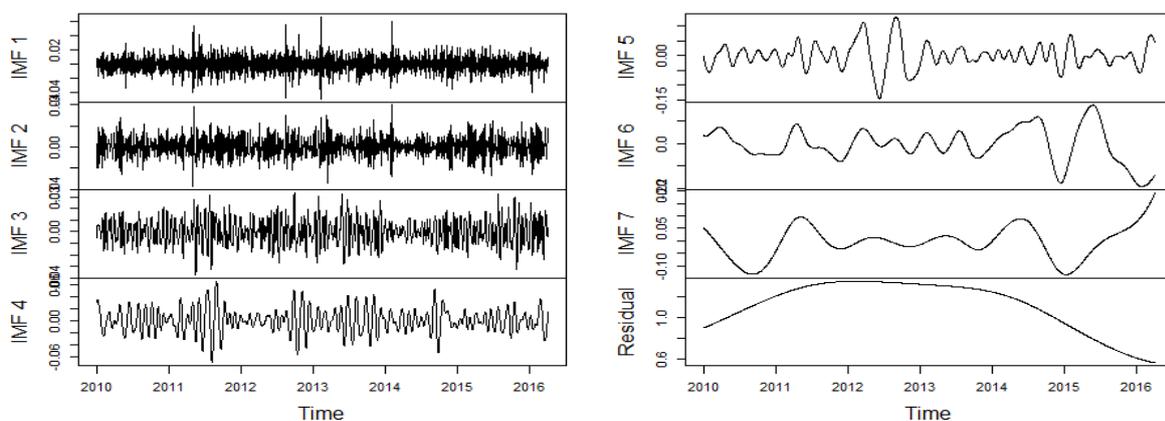
Fonte: elaborado pelos autores (2018).

Figura 1a - Decomposição através do EEMD para a série temporal do WTI



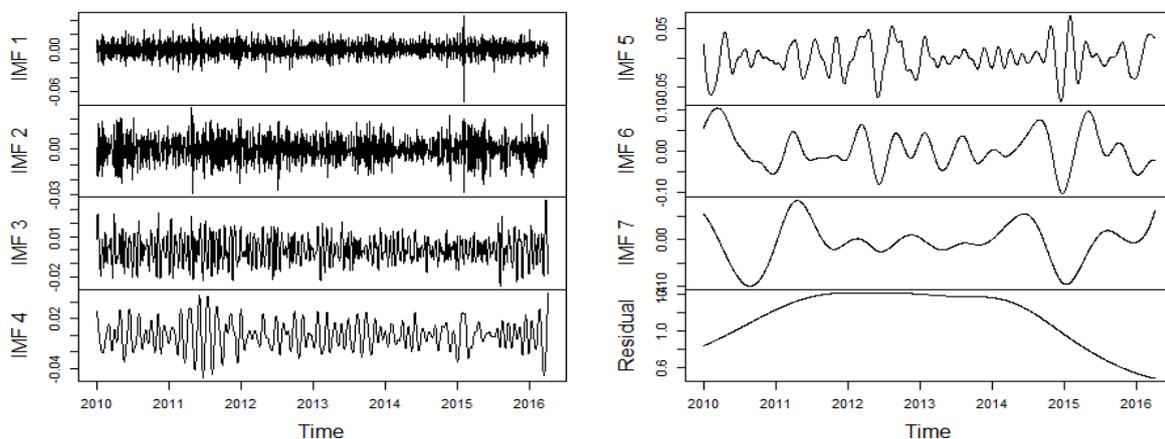
Fonte: elaborado pelos autores (2018).

Figura 1b - Decomposição através do EEMD para a série temporal do Brent



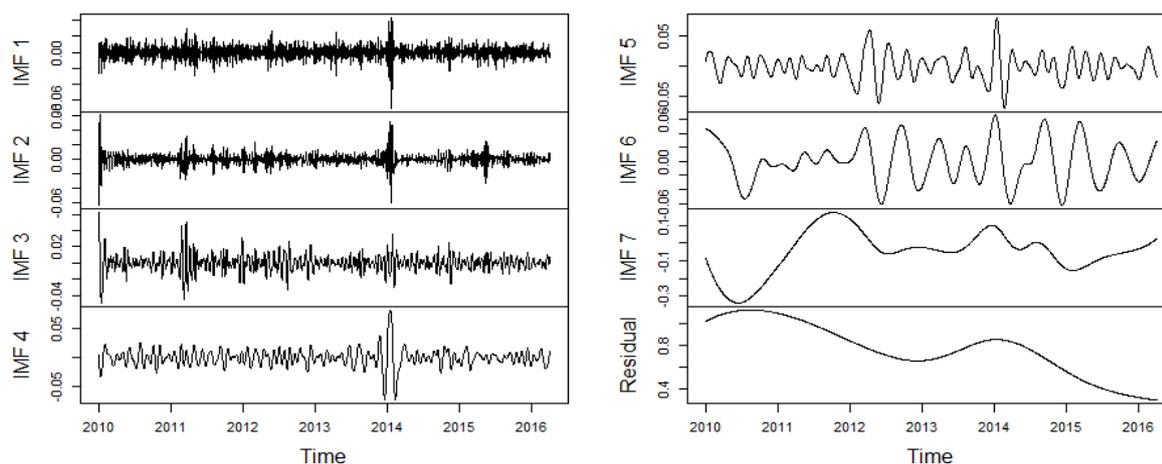
Fonte: elaborado pelos autores (2018).

Figura 1c - Decomposição através do EEMD para a série temporal da gasolina.



Fonte: elaborado pelos autores (2018).

Figura 1d - Decomposição através do EEMD para a série temporal do diesel



Fonte: elaborado pelos autores (2018).

Figura 1e - Decomposição através do EEMD para a série temporal do propano

Após realizadas as devidas decomposições, realizou-se uma análise da correlação entre as séries decompostas e as séries temporais originais a fim de identificar qual IMF apresenta maior associação com a série original. Para tal, interpretou-se o nível de associação entre as séries de acordo com os coeficientes de correlação indicados por Hair et al. (2009). É possível observar através da Tabela 1, que a correlação entre as séries originais e suas IMFs é extremamente baixa na IMF1 e na medida em que as IMFs aumentam o nível de correlação se eleva gradualmente até apresentar seus maiores coeficientes nas IMFs 6 e 7. Contudo, tal nível de associação, ainda é pequena ou quase imperceptível.

IMFs	WTI	BRENT	Gasolina	Diesel	Propano
IMF1	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
IMF2	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03
IMF3	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03
IMF4	0,11	0,10	0,05	0,07	0,12
IMF5	0,25	0,15	0,03	0,11	0,12
IMF6	0,39	0,18	0,09	0,44	0,03
IMF7	0,31	0,12	0,33	0,12	0,33

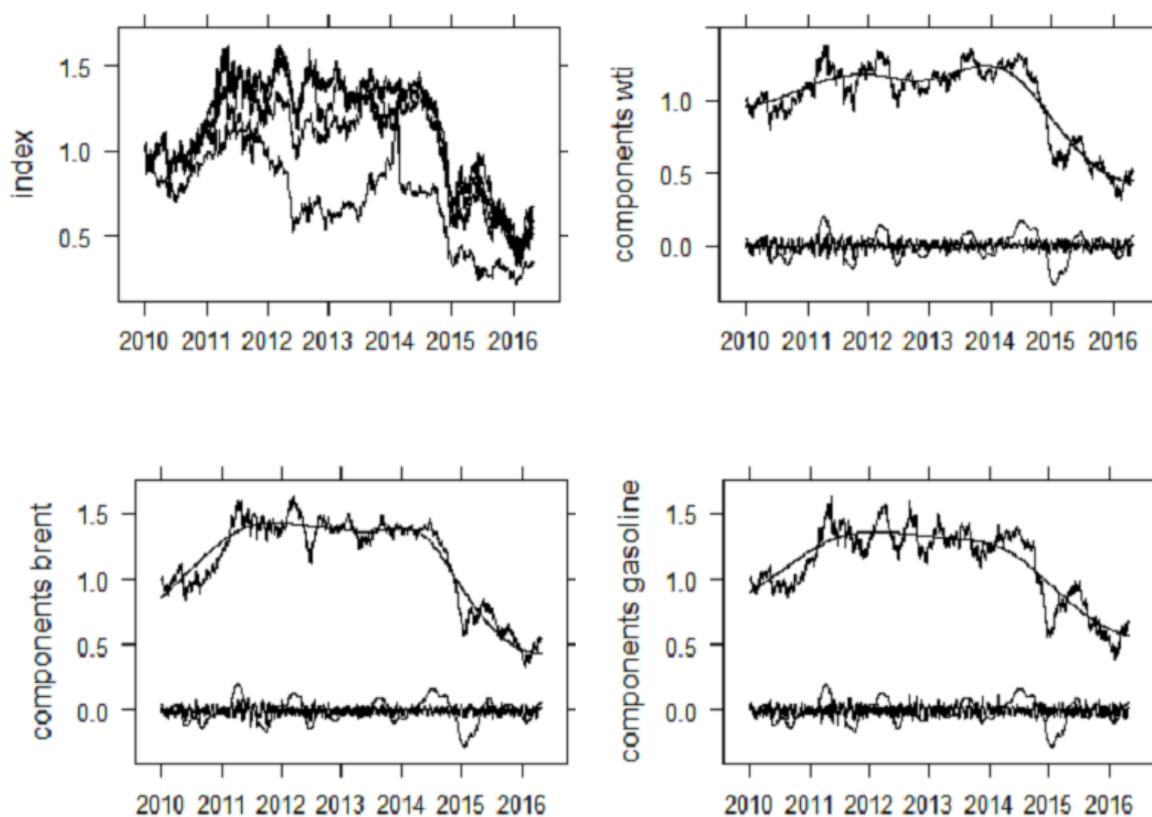
Fonte: elaborado pelos autores (2018).

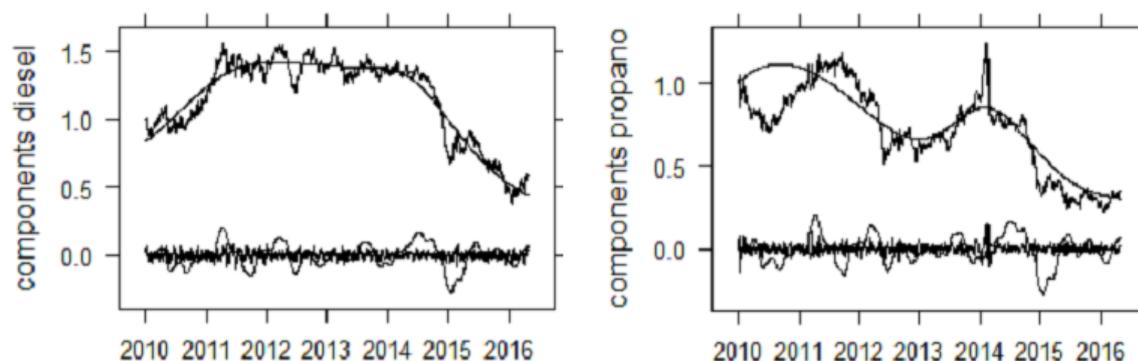
Tabela 1 - Correlações das variáveis com suas respectivas decomposições (IMFs) no período de 04/01/2010 até 25/04/2016

Como visto anteriormente, as IMFs podem não representar adequadamente as características da série após cada decomposição. Portanto, para uma análise mais precisa da correlação entre as variáveis, torna-se necessária uma análise a partir da decomposição em

séries de alta e baixa frequência e da série de tendência. Tal decomposição, faz com que suas características reais se tornem observáveis, e possibilita uma melhor compreensão do comportamento de seus preços.

A série de alta frequência representa os eventos de influência de curto prazo, ou seja, as informações que de alguma forma influenciam nos preços, mas não exercem influência alguma após certo período. A série de baixa frequência engloba as informações que continuam exercendo alguma influência mesmo com o decorrer do tempo. Por fim, a série de tendência mostra o comportamento natural do preço (Wu & Huang, 2009). Na Figura 2 é possível observar de que forma as séries de frequência e tendência se comportam ao longo do tempo.





Fonte: elaborado pelos autores (2018).

Figura 2- Composições em alta frequência, baixa frequência e tendência para cada uma das variáveis e séries originais.

Por meio das decomposições de alta e baixa frequência e da série de tendência, pode-se verificar, na Figura 2, que as séries temporais dos preços analisados se comportam de forma parecida, com exceção do propano, que aparentemente, se comporta de forma distinta. Porém, tal inferência só pode ser confirmada através de uma nova análise de correlação entre as variáveis, que pode ser observada na Tabela 2.

Variáveis	WTI	BRENT	Gasolina	Diesel	Propano
WTI Alta frequência	0,11	0,08	0,08	0,08	0,05
WTI Baixa frequência	0,45	0,37	0,44	0,34	0,21
WTI Tendência	0,94	0,94	0,88	0,93	0,79
BRENT Alta frequência	0,09	0,10	0,09	0,09	0,04
BRENT Baixa frequência	0,21	0,22	0,30	0,20	0,05
BRENT Tendência	0,93	0,96	0,90	0,96	0,77
Gasolina Alta frequência	0,07	0,06	0,13	0,06	0,04
Gasolina Baixa frequência	0,38	0,36	0,51	0,35	0,17
Gasolina Tendência	0,90	0,95	0,90	0,96	0,74
Diesel Alta frequência	0,10	0,09	0,10	0,11	0,06
Diesel Baixa frequência	0,23	0,23	0,31	0,22	0,12
Diesel Tendência	0,91	0,95	0,91	0,96	0,71
Propano Alta frequência	0,05	0,04	0,04	0,04	0,12
Propano Baixa frequência	0,32	0,44	0,42	0,44	0,34
Propano Tendência	0,65	0,58	0,52	0,53	0,87

Fonte: elaborado pelos autores (2018)

Tabela 2 - Correlações das variáveis (alta frequência, baixa frequência e tendência) das variáveis no período de 04/01/2010 até 25/04/2016.

A partir desta análise, é possível verificar que os maiores coeficientes de correlação encontram-se nas séries de tendência, onde o petróleo WTI apresenta maior correlação com sua série original (0,94) e com o petróleo Brent na mesma intensidade. De forma semelhante, a série de tendência do petróleo Brent apresenta maior correlação com sua série original (0,96). Tal constatação corrobora com as evidências de Zhang, Lai e Wang (2008) que indicaram que o preço do petróleo bruto pode ser explicado como o composto de uma série de tendência. Os derivados (gasolina, diesel e propano), também evidenciam um maior nível de correlação com suas séries originais (0,90), (0,96), e (0,87), respectivamente.

Nas séries de alta frequência, encontram-se os menores coeficientes de correlação em todas as cinco séries. Um ponto que cabe ser destacado, é que o Propano apresenta um nível de correlação muito baixo, ou quase imperceptível com as demais. Já as séries de baixa frequência apresentam de forma geral um grau de associação médio em todas as correlações. Em suma, destaca-se que o preço do propano é o que menos se relaciona com os demais preços, confirmando o comportamento exposto através da Figura 2.

Os principais resultados indicam que o preço do petróleo dos tipos WTI e Brent, assim como seus derivados são principalmente compostos pela série de tendência. Ou seja, estas séries são explicadas em menor intensidade por eventos de influência de curto prazo, como as informações lançadas no mercado diariamente, ou por eventos de influência de longo prazo. A alta correlação entre os preços do petróleo com a gasolina e o diesel corrobora com os trabalhos de Borenstein et al. (1997) e Liu, et al. (2010), que em uma perspectiva diferente indicaram que os preços dos derivados do petróleo, tendem a responder à suas mudanças. O comportamento do propano, embora relevante não é passível de inferências, dado que a literatura que analisa seu preço é ainda incipiente.

5. Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi analisar a relação entre o preço do petróleo dos tipos *West Texas Intermediate* (WTI) e Brent, e alguns derivados (propano, gasolina e diesel) durante o período de 04 de janeiro de 2010 à 25 de abril de 2016, a partir do *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD), proposto por Wu e Huang (2004). Após a decomposição das cinco séries de preços em funções de modo intrínseco (IMFs) e posteriormente reagrupadas em séries de frequência e tendência, verificou-se qual dentre estas melhor determina o comportamento da série original. De forma concomitante, foi ainda verificada a força de associação entre os preços do petróleo bruto e seus derivados através de uma análise de correlação.

Os resultados indicam que o EEMD, pode ajudar a interpretar a dinâmica do preço do petróleo bruto e seus derivados a partir de uma nova perspectiva. Os resultados evidenciam que o preço do petróleo dos tipos WTI e Brent e seus derivados, são principalmente compostos pela série de tendência, ou seja, os eventos de influência de curto e longo prazo, parecem não exercer fortes influências sobre seus preços. Contudo tal constatação, não deve ser generalizada para períodos anteriores e posteriores ao período analisado.

Quanto a relação entre as séries temporais, verificou-se uma forte associação entre os preços do petróleo bruto e seus derivados, principalmente com a gasolina e o diesel, o que corrobora com evidências já latentes na literatura (Borenstein et al. 1997; Liu, et al. 2010). Estes resultados trazem importantes implicações para os consumidores diretos ou indiretos dos combustíveis derivados do petróleo, que devem estar atentos as variações de seus preços. Como sugestão para trabalhos futuros, é recomendado analisar de forma mais precisa as características do preço do propano. Outra possibilidade é analisar a assimetria da transmissão de preços entre o preço do petróleo e seus derivados.

Referências

- Agnolucci, P. (2009). Volatility in crude oil futures: A comparison of the predictive ability of GARCH and implied volatility models. *Energy Economics*, 31(2), p. 316-321.
- Almeira, E., Oliveira, P., & Losekann, L. (2015). Impactos da contenção dos preços de combustíveis no Brasil e opções de mecanismos de precificação. *Brazilian Journal of Political Economy*, 35(3), p. 531-556.
- Apergis, N., & Miller, S. (2009). Do structural oil-market shocks affect stock price? *Energy Economics*, 31(4), p. 569-575.
- Arouri, M., & Rault, C. (2011). Oil price and stock markets in GCC countries: empirical evidence from panel analysis. *International Journal of Finance and Economics*, 17(3), p. 242-253.
- Arouri, M., & Rault, C. (2012). Oil prices and stock markets in GCC countries: empirical evidence from panel analysis. *International Journal of Finance and Economics*, 17(3), p. 242-253.
- Bagchi, B. . (2017). Volatility spillovers between crude oil price and stock markets: evidence from BRIC countries. *International Journal of Emerging Markets*, 12(2), p. 352-365.

- Banikhaldid, H. (2017). The impact of Oil price on the G7's inflation rate: an econometric study for the period (1986-2016). *International Journal of Economics and Finance*, 9(6), p. 1916-9728.
- Basher, S., Haug, A., & Sadorsky, P. (2012). Oil prices, exchange rates and emerging stock markets. *Energy Economics*, 34, p. 227–240.
- Bechmeier, L., & Griffin, J. (2003). New evidence on asymmetric gasoline price. *Review of Economics and Statistics*, 85(3), p. 772-776.
- Borenstein, S., Cameron, C., & Gilbert, R. (1997). Do Gasoline Prices Respond Asymmetrically to Crude Oil Price Changes? *The Quarterly Journal of Economics*, 112, p. 305-339.
- Chen, L.-H., Finney, M., & Lai, K. (2005). A threshold cointegration analysis of asymmetric price transmission from crude oil to gasoline prices. *Economics Letters*, 89(2), p. 233-239.
- Ciner, C. (2001). Energy shocks and financial markets: Nonlinear linkages. *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, 5(3), p. 203-212.
- Ding, H., King, H.-G., & Park, S. (2016). Crude Oil and Stock Markets: Causal Relationships in Tails? *Energy Economics*, 59, p. 58-69.
- Federal Reserve Bank of St. Louis. (2016). *Economic Research*. Acesso em 3 de julho de 2016, disponível em Federal Reserve Bank of St. Louis: <https://fred.stlouisfed.org/series/DCOILWTICO>
- Hair, J., William, B., Babin, B., & Anderson, R. (2009). *Análise multivariada de dados* (6ª ed.). Porto Alegre: Bookman.
- Hamilton, J. (1983). Oil and the macroeconomy since World War II. *The Journal of Political Economy*, 91(2), p. 228-2248.
- Hamilton, J. (2003). What is an oil shock. *Journal of Econometrics*, 113(2), p. 363-398.
- Hartley, P., Medlock, K., & Rosthal, J. (2008). The Relationship of Natural Gas to Oil Prices. *The Energy Journal*, 29(3), p. 47-65.
- Honarvar, A. (2009). Asymmetry in retail gasoline and crude oil price movements in the United States: an application of hidden cointegration technique. *Energy Economics*, 31, p. 395-402.

- Hou, A., & Suardi, S. (2012). A nonparametric GARCH model of crude oil price return volatility. *Energy Economics*, 34(2), p. 618-626.
- Huang, N. E., Shen, Z., & Long, S. R. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary. *Process of the Royal Society of London*, 903-995.
- Huang, N., Shen, Z., Long, S., Wu, M., Shih, H., Zheng, Q., Liu, H. (1998). The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis. *Proceedings of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, p. 903-995.
- Jones, C., & Kaul, G. (1996). Oil and the stock markets. *The Journal of Finance*, 51(2), p. 463-491.
- Kang, S., Kang, S., & Yoon, S. (2009). Forecasting volatility of crude oil markets. *Energy Economics*, 31(1), p. 119-125.
- Lahiani, A., Miloudi, A., Benkraiem, R., & Shahbaz, M. (2017). Another look on the relationships between oil prices and energy prices. *Energy Policy*, 102, p. 318–331.
- Latif, M., & Herawati, S. (2016). *The application of eemd and neural network based on polak-ribière conjugate gradient algorithm for crude oil prices forecasting*. MATEC web of conferences, 58.
- Lee, C.-G., & Zeng, J.-H. (2011). The impact of oil price shock on stock market activities: asymmetric effect with quartile regression. *Mathematics and Computer in Simulation*, 81(9), p. 1910-1920.
- Liu, M.-H., Margaritis, D., & Tourani-Rad, A. (2010). Is there an asymmetry in the response of diesel and petrol. Prices to crude oil price changes? Evidence from New Zeland. *Energy Economics*, 32, p. 926-932.
- Naifar, N., & Dohaiman, M. (2013). Nonlinear analysis among crude oil prices, stock markets' return and macroeconomic variables. *International Review of Economics and Finance*, 27, p. 416-431.
- Park, J., & Ratti, R. (2008). Oil price shocks and stock markets in the US and 13 European countries. *Energy Economics*, 30(5), p. 2587-2608.

- Rahman, S. (2016). Another perspective on gasoline price responses to crude oil price changes. *Energy Economics*, 55, p. 10-18.
- Rotemberg, J., & Woodford, M. (1996). Imperfect competition and the effects of energy price increases on economic activity. *Journal of Money, Credit and Banking*, 28(4), p. 550-577.
- Sadorski, P. (1999). Oil price shocks and stock market activity. *Energy Economics*, 21(5), p. 449-469.
- Sathler, M., & Tolmasquim, M. (2001). A formação de preços dos derivados de petróleo no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, 8(1), p. 1-15.
- Sauter, R., & Awerbuch, S. (2003). *Oil price volatility and economic activity: a survey and literature review*. IEA Research Paper.
- Silva, B. (2011). *Relações entre o preço internacional do petróleo e as ações da petrobrás*. 2011. 127 f. Dissertação - Mestrado em Ciências Contábeis - Programa Multiinstitucional e Inter-Regional de Pós-Graduação em Ciências Contábeis da UnB, UFPB e UFRN.
- Silva, N., & Ferraro, M. (2017). A crise na indústria petrolífera brasileira e seus impactos nos indicadores macroeconômicos. *Revista Brasileira de Energia*, 23(1), p. 7-23.
- Stevens, P. (1995). The determination of oil prices 1945-1995. *Energy Policy*, 23(10), p. 861-870.
- Tsai, I.-C. (2012). The relationship between stock price index and exchange rate in Asian markets: A quantile regression approach. *Journal of International Financial Markets, Institutions & Money*, 22, p. 609– 621.
- Vilar, J., & Joutz, F. (2006). *The Relationship between Crude Oil and Natural Gas Prices*. Energy Information Administration, Washington D.C.
- Wu, Z., & Huang, N. (2009). Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 1(1), p. 1 - 41.
- Yu, L., Wang, Z., & Tang, L. (2015). A decomposition–ensemble model with data-characteristic-driven reconstruction for crude oil price forecasting. *Applied Energy*, 156, p. 251-267.
- Zhang, L., Yu, L., Wang, S., & Lai, K. (2009). Estimating the impact of extreme events on crude oil price: An EMD-based event analysis method. *Energy Economics*, 31(5), p. 768-778.

Zhang, X., Lai, K., & Wang, S. (2008). A new approach for crude oil price analysis based on Empirical. *Energy Economics*, 30, p. 905-918.