

Eixo Temático: Estratégia e Internacionalização de Empresas

**ANÁLISE DO PREÇO DO PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS ATRAVÉS DO
MÉTODO *ENSEMBLE EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION***

**ANALYSIS OF THE OIL PRICE AND THEIR DERIVATIVES THROUGH THE
METHOD *ENSEMBLE EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION***

Fernanda Alves Lamberti, Paulo Sergio Ceretta, Lucio Dalcin e Vanessa Rabelo Dutra

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar o preço do petróleo dos tipos Brent e WTI e seus derivados, como a gasolina, o diesel e o propano e buscar características físicas que influenciam na variação dos preços e de que forma ocorrem. Foi utilizado o período de Janeiro de 2010 até abril de 2016. Os dados foram elaborados na forma de séries temporais e o método empregado foi o *Ensemble Empirical Mode Decomposition*-EEMD (WU; HUANG, 2004). As séries foram decompostas em sete IMFs e um resíduo e reagrupadas em uma série de alta frequência, uma de baixa frequência e uma série de tendência. Os resultados apontaram que o preço do petróleo dos tipos WTI e Brent e os derivados, gasolina e diesel, são principalmente compostos pela série de tendência e menos explicados pelos eventos de influência de curto prazo, como, por exemplo, as informações lançadas no mercado diariamente.

Palavras-chave: petróleo, derivados, EEMD, IMFs.

ABSTRACT

This study aimed to analyze oil prices types Brent and WTI and its derivatives, such as gasoline, diesel and propane and seek physical characteristics that influence the variation in prices and how they occur. It used the period January 2010 to April 2016. The data were drawn up in the form of time series and the method employed was the *Ensemble Empirical Mode Decomposition*-EEMD (WU, HUANG, 2004). The series were decomposed into seven IMFs and a residue and grouped into a series of high frequency, a low frequency and a series trend. The results showed that oil prices types WTI and Brent and derivatives, gasoline and diesel, are mainly made up of the trend series and less explained by short-term influence of events such as, for example, the information brought to the market daily.

Keywords: oil, derivatives, EEMD, IMFs.

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é visto como o recursos energéticos mais importantes e pelas consequências econômicas do seu preço bastante volátil. O preço do petróleo, ainda hoje, é responsável por disputas intra e inter-regionais. Segundo Zhang, Lai e Wang (2008), países que importam petróleo sofrem aumento na inflação quando o preço está em alta e têm sua economia afetada. Já os países que exportam o petróleo sofrem recessão econômica e instabilidade política, o que leva ao retardamento do crescimento nesses países, quando o preço está baixo. Além disso, as perdas econômicas são impulsionadas pela volatilidade do preço do petróleo e de seus derivados também. Tais pontos tornam este recurso alvo de diversos estudos com o objetivo de prever e analisar seu preço.

O preço do petróleo e dos seus derivados são base para a tomada de decisões em muitos países. No Brasil por exemplo, que utiliza como principal meio de transporte o rodoviário, o preço dos derivados do petróleo, principalmente do diesel e da gasolina, afetam diretamente o bolso de grande parte da população. Segundo os dados da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE), nos últimos anos, fica visível a preocupação com a volatilidade do preço do petróleo e dos seus derivados, já que a variação do preço afeta diretamente no preço dos produtos, fazendo com que a população em geral sinta os efeitos desta volatilidade.

Em 2011 o gerente da Petrobras afirmou que por razões de economia e preocupação com o meio ambiente, o GLP tinha força para se tornar um combustível muito utilizado, e como principal componente do GLP temos o propano, derivado do petróleo. O propano já foi motivo de disputas entre países. Visto isto temos mais um componente relevante, derivado do petróleo que apresenta motivos para se ter conhecimento sobre a volatilidade de seu preço e suas características físicas.

Há estudos que visam identificar quais acontecimentos históricos causam as altas e baixas no preço do petróleo, outros utilizam os dados disponíveis e métodos de previsão para entender o que acontecerá com o preço e tentar encontrar meios de amenizar as consequências da volatilidade. Já os modelos de decomposição são capazes de identificar quais fatores afetam, e como, as variações no preço. A grande dificuldade nos estudos dessa variável se encontra em reconhecer os fatores físicos que afetam e causam a variação.

1.1. OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo analisar o preço do petróleo e de seus derivados através de suas características físicas e como elas afetam a variação das séries originais. Os objetivos específicos são:

- Analisar o preço do petróleo tipo Brent e WTI, e de alguns derivados (propano, gasolina e diesel).
- Decompor as cinco séries temporais em frequências através do método EEMD;
- Analisar a característica físicas de frequências que afetam cada um dos preços;

1.2. ESTRUTURA

O trabalho está organizado em mais cinco capítulos. Sendo o capítulo 2 a revisão da literatura, contendo os principais resultados encontrados na literatura até então. No capítulo 3 encontra-se os dois métodos de decomposição, o EMD e o EEMD. No capítulo 4 está a metodologia a ser empregada e os passos seguidos para atingir os objetivos traçados, no capítulo 5 é apresentado os resultados encontrados através da aplicação do método mencionado e no capítulo 6 as conclusões e último capítulo as referências utilizadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Sathler e Tolmasquim (2001) apresentaram um estudo sobre os derivados do petróleo no Brasil, destacando a influência da variação do preço dos derivados (principalmente gasolina, diesel e gás natural) na economia e na política brasileira. A variação destes preços são bases para tomada de decisão de muitas empresas, visto que o preço do combustível é incorporado no preço de praticamente todos os produtos e serviços oferecidos. O que também acarreta na insatisfação dos trabalhadores que perdem de seus lucros devido ao aumento de custo dos produtos em decorrência do aumento do custo de transporte.

Em um estudo realizado por Zhang, Lai e Wang (2008), utilizando dados do petróleo WTI, no período de janeiro de 1946 até maio de 2006 e através do método EMD, com o objetivo de analisar o preço do petróleo através do método EEMD, tiveram como conclusão que o preço do petróleo no longo prazo é determinado basicamente pela tendência, que muda continuamente em torno da média de longo prazo. Porém, o que causa os picos e as quedas nos preços são, geralmente, eventos históricos, que são imprevisíveis, apesar de significativos.

E este mesmo resultado foi a limitação do estudo feito por Zhang, Lai e Wang (2008), que com o objetivo de prever para um período de um mês os preços dos petróleos WTI e Brent, através do método de previsão multi-passos com base em observações históricas, apresentaram uma previsão baseada na série de tendência da série original. Resultado considerado bastante relevante, mas que não inclui os eventos históricos que poderiam ocorrer no período previsto, que certamente afetariam os preços considerados.

Com isto, Zhang, Lai e Wang (2009) realizaram um estudo, utilizando o método EMD, com a finalidade de verificar a dimensão do impacto causado no preço dos petróleos pelos eventos históricos. As séries temporais foram decompostas em séries de frequência, e a partir delas analisou-se os picos nos preços, assim, os autores concluíram que os eventos históricos influenciaram apenas em algumas das séries de frequência, o que torna tal impacto isolável. Dois eventos foram analisados, a Guerra do Golfo Pérsico, em 1991 e a Guerra do Iraque em 2003, os resultados empíricos apontaram que os resultados oferecidos pelo EMD era uma solução viável para a análise dos impactos causados por estes eventos na variação dos preços.

Outro estudo que aborda a questão do preço do petróleo é o de Zhang e Wang (2015), que traz como objetivo analisar o processo de bolhas no preço do petróleo do tipo WTI, utilizando regimes de Markov. Com período de janeiro de 2003 até janeiro de 2012. Os coeficientes encontrados no modelo de regressão proposto indicaram que a oferta de petróleo dos EUA e as ações tem correlação negativa com o preço do petróleo, enquanto as importações de petróleo dos EUA tem correlação positiva com o preço do petróleo, o que representa que o preço do petróleo bruto geralmente diminui quando a oferta de petróleo aumenta. E o preço sobe quando a demanda cresce. E além disso, ressaltam que não se pode usar os estoques de petróleo para justificar a existência de bolhas no geral.

3. MÉTODO DE DECOMPOSIÇÃO

Quando analisamos uma série temporal, principalmente referente a preço de mercadorias, temos como observar apenas o preço ao longo do tempo, mas não fica claro na série o que causa cada variação, por esse motivo introduz-se os métodos de decomposição, que tornam possível observar diversos fatores que influenciam o valor final da mercadoria ao longo do tempo.

3.1. EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION

Em séries temporais, a maioria dos métodos de modelagem encontra problemas diante de dados não lineares e não estacionários, já o *Empirical Mode Decomposition*-EMD (Huang, Shen e Long; 1998) opera de forma normal para dados com estas características. Este é, então, um grande ponto forte do EMD.

De modo geral, o EMD assume que uma série temporal traz, intrinsecamente, modos de oscilação, que serão separadas pelas suas frequências. Podemos representar cada modo intrínseco da série original como uma função de modo intrínseco, as chamadas IMFs. Ou seja, o EMD tem como objetivo decompor uma série temporal em séries de frequência.

Uma função de modo intrínseco satisfazem os seguintes itens:

- 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 uma IMF devem estar acima do eixo- x e todos os mínimos abaixo.
- 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 uma IMF do método *Wavelets*, que também são oscilações, mas não precisam, necessariamente, ter tal característica. Já o segundo item garante que a função será simétrica em relação ao eixo- x .

Para obter as IMFs seguem-se os seguintes passos:

Passo 1:

Identificar todos os máximos e mínimos da série temporal, e denotaremos a série original por $x(t)$.

Passo 2:

Gerar os envelopes superiores e inferiores ($E_{max}(t)$ e $E_{min}(t)$) com *spline* cúbico de interpolação. Que é a interpolação dos pontos máximos locais e a interpolação dos pontos de mínimos locais que satisfaz a seguinte característica: A função e suas derivadas primeira e segunda devem ser contínuas no intervalo de interpolação.

Passo 3:

Calcular a média ponto a ponto, onde $m(t) = \frac{E_{max}(t)+E_{min}(t)}{2}$.

Passo 4:

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 $d(t) = x(t) - m(t)$.

Passo 5:

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 não é IMF, substituir $x(t)$ por $d(t)$.

Passo 6:

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. Com isso entende-se que o EMD tem como vantagem a abordagem de séries não estacionárias e a utilização apenas dos valores de máximos e mínimos locais para a construção de cada função de modo intrínseco. Porém apresenta pontos negativos, como o *mode mixing*.

3.1.1. O problema *mode mixing*

Conforme Wu e Huang (2004), o EMD, a pesar de apresentar grandes vantagens, traz uma desvantagem, o aparecimento de *mode mixing*, que consiste em qualquer IMF que apresenta escalas díspares, fazendo com que a IMF deixe de ter significado físico. Para superar tal problema, apresenta-se o *Ensemble Empirical Mode Decomposition*.

3.1.2. *Ensemble Empirical Mode Decomposition*

O *Ensemble Empirical Mode Decomposition* – EEMD (Wu e Huang, 2004) é um aperfeiçoamento do EMD, sua principal característica é a adição de um ruído branco. O ruído branco é uma série aleatória diferente para cada etapa da extração das IMFs, e é adicionada com o objetivo de homogeneizar as escalas e facilitar a interpretação dos resultados, pois as IMFs apresentaram seu significado real, o que não acontecia anteriormente, no EMD.

Portanto, podemos desenvolver o EEMD através dos seguintes passos:

- Adicionar uma série de ruídos brancos para os dados específicos. A série ruído branco opera com o objetivo de isolar a frequência de um determinado evento físico, ou seja, isolar o real significado de cada IMF.
- Decompor em IMFs, seguindo os seis passos apresentados anteriormente no EMD.
- Repita as etapas 1 e 2 de forma iterativa, mas com diferentes séries de ruído branco de cada vez.
- 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. As primeiras IMFs irão compor a série de alta frequência e as últimas irão compor a série de baixa frequência e o resíduo será a série de tendência.

Podemos concluir observando que a melhoria do EEMD frente ao EMD é a eficiência na interpretação dos dados, e isto é feito através da adição das séries de ruído branco.

4. METODOLOGIA

O método utilizado foi o *Ensemble Empirical Mode Decomposition*-EEMD. Com dados diários dos preços do petróleo dos tipos WTI e Brent e de seus derivados (gasolina, diesel e propano) no período de 04/01/2010 até 25/04/2016. As séries temporais serão decompostas em sete séries de frequência cada e reagrupadas em série de alta frequência, série de baixa frequência e uma série de tendência.

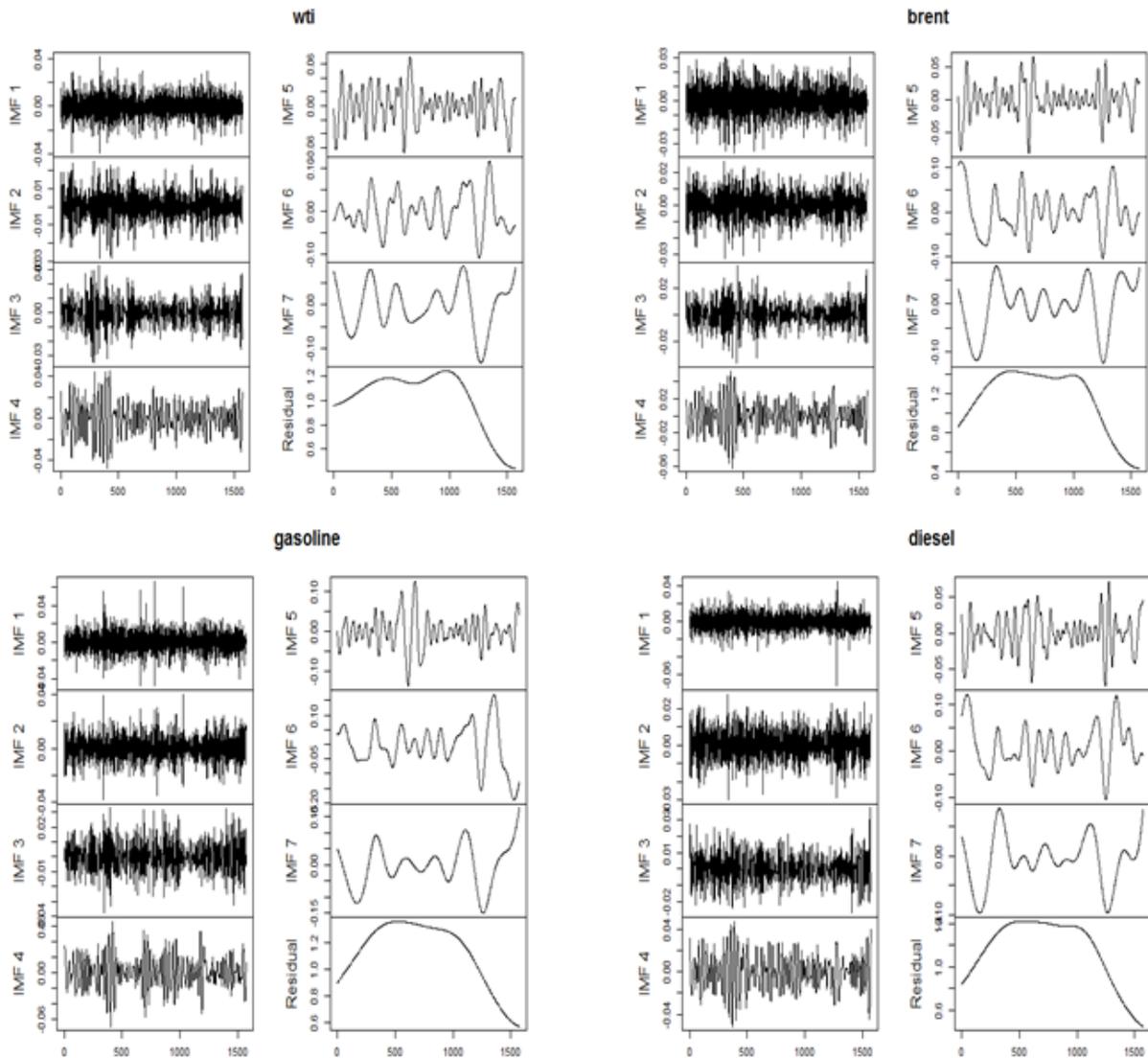
As séries de alta e baixa frequência e as séries de tendência foram analisadas evidenciando suas características e foi feita uma análise da correlação entre as séries encontradas.

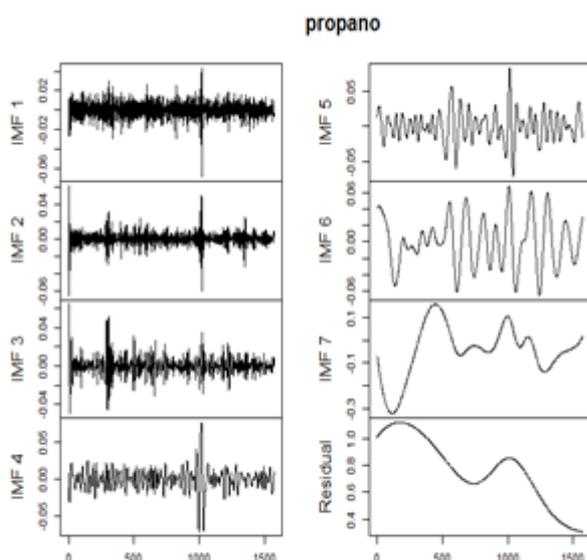
5. RESULTADOS

5.1. IMFS

A Figura 1 apresenta as sete IMFs e o resíduo de cada um dos cinco produtos analisados, nota-se que as IMFs são apresentadas em ordem de maior frequência, e suas amplitudes também variam, conforme cada evento de influência que ocorre.

Figura 1 - Decomposição através do EMD, em sete IMFs e um resíduo para cada série temporal original.





Fonte: elaborado pelos autores.

A Tabela 1 apresenta as correlações entre as decomposições (sete IMFs e um resíduo) com as séries temporais originais dos preços (WTI, Brent, gasolina, diesel e propano), utilizando a correlação de Pearson. Para todas as variáveis a imf 7 e o resíduo. Nos casos das variáveis petróleo WTI e do propano, a imf 7 apresenta correlação maior, em média 0,7 e nas variáveis petróleo Brent, gasolina e diesel, a série dos resíduos apresenta maior correlação, em média 0,71. Ou seja, aproximadamente 70% das séries originais são explicadas por apenas uma das decomposições. Mas como vimos no método de decomposição, enquanto estamos analisando apenas as IMFs, as características físicas podem não estar adequadamente representadas. Tal resultado teremos claro na análise das composições em séries de alta e baixa frequência e a série de tendência.

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

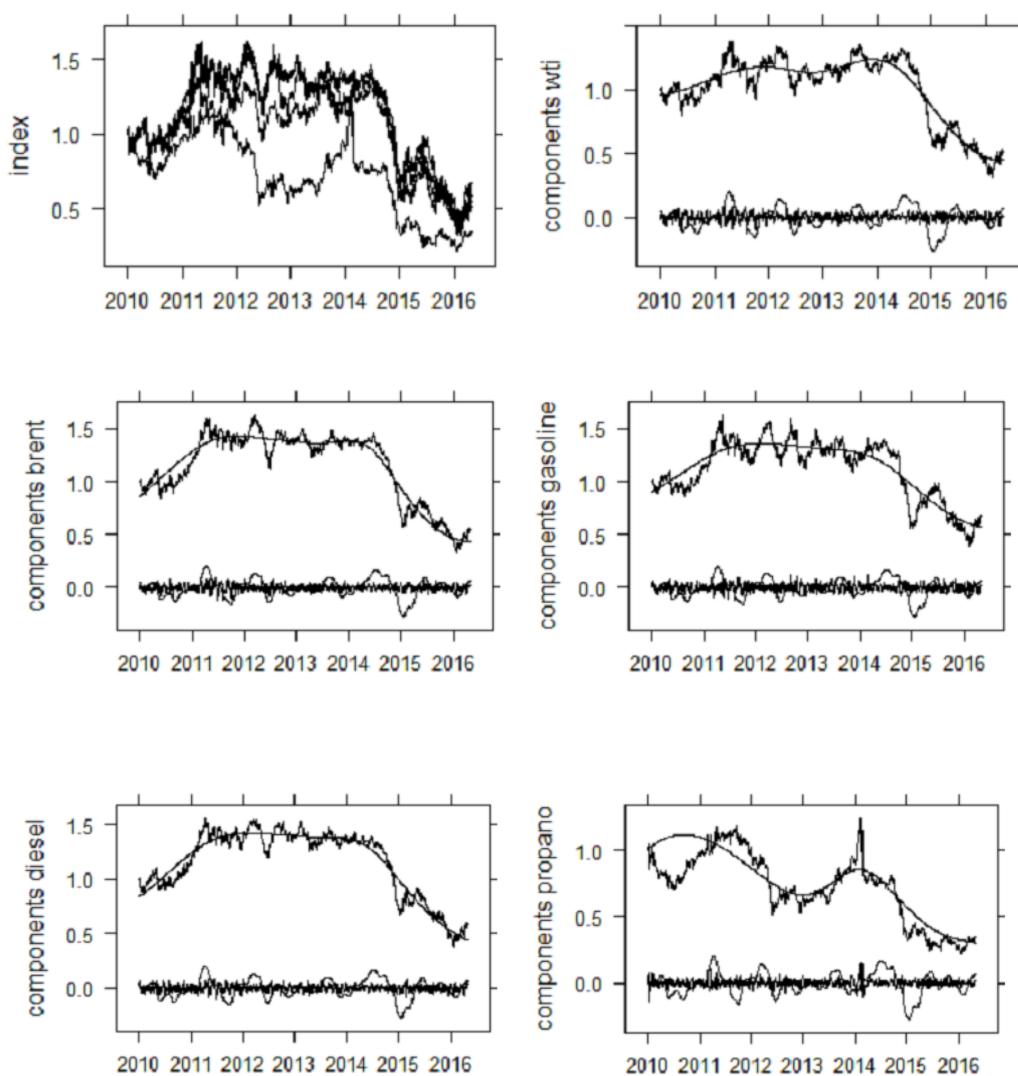
IMFs	WTI	BRENT	Gasolina	Diesel	Propano
IMF1	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03
IMF2	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03
IMF3	0,05	0,04	0,02	0,03	0,03
IMF4	0,11	0,10	0,05	0,07	0,12
IMF5	0,25	0,15	0,03	0,11	0,12
IMF6	0,39	0,18	0,09	0,44	0,03
IMF7	0,31	0,12	0,33	0,12	0,33
RES	0,94	0,93	0,65	0,90	0,91

Fonte: elaborado pelos autores.

5.2. COMPOSIÇÕES

A Figura 2 apresenta as decomposições de alta frequência, baixa frequência e a série de tendência, são apresentados os gráficos das variáveis com suas composições.

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



Fonte: elaborado pelos autores.

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

	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
Gasol. Alta frequência	0,07	0,06	0,13	0,06	0,04
Gasol. Baixa frequência	0,38	0,36	0,51	0,35	0,17
Gasol. 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
Prop. Alta frequência	0,05	0,04	0,04	0,04	0,12
Prop. Baixa frequência	0,32	0,44	0,42	0,44	0,34
Prop. Tendência	0,65	0,58	0,52	0,53	0,87

Fonte: elaborado pelos autores.

A partir da Tabela 2, observa-se que as composições de alta e baixa frequência apresentam maior correlação com as séries originais de suas próprias variáveis. Sendo que a composição de baixa frequência apresenta correlação maior do que a de alta frequência, para todas as variáveis e a série de tendência apresenta maior correlação em todas as variáveis. Sendo as maiores correlações entre tendência do petróleo Brent e o diesel, a série de tendência da gasolina e o diesel, da tendência do diesel e o próprio diesel, todas de 0,96. E a menor correlação observada com a série de tendência é entre a tendência do propano e a gasolina, sendo 0,52, e entre todas as composições, a menor correlação observada é de 0,04 entre a alta frequência do Brent e o propano, a alta frequência da gasolina e o propano, e a alta tendência do propano com o Brent e a gasolina.

6. CONCLUSÕES

O preço dos petróleos dos tipos WTI e Brent e dos derivados do petróleo (gasolina, diesel e propano) são, primeiramente, decompostos em funções de frequências intrínsecas (IMFs) que apontam de que forma os preços variam ao longo do tempo separadas em funções de oscilação seguindo algumas propriedades. Após, utilizando o EEMD, são compostas em series de alta frequência, baixa frequência e uma serie de tendência. O que garante, pelo método, que as características físicas sejam mantidas. O que, por meio de uma análise de correlação de Pearson, mostra como os eventos de influência de curto e longo prazo compõem o preço final e também a tendência natural ao longo da media conduz a variação dos preços.

Após a análise dos dados, verificou-se que o propano é a única variável que se comporta de forma diferente, por não ser explicada, em maior porcentagem, pela série de tendência, ao contrário das outras variáveis. Com isso, traz-se como sugestão para futuros estudos, verificar porque o derivado propano segue formas diferentes de composição do preço.

7. REFERÊNCIAS

HUANG, N. E.; SHEN, Z.; LONG, S.R. **The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis**. Process of the Royal Society of London. A, P. 903-995, 1998

SATHLER, M. W.L.;TOLMASQUIM, M.T. **A formação de preços dos derivados de petróleo no Brasil**. Revista Brasileira de Energia, v. 8, n.1, 2001.

WU, Z.; HUANG, N.E. **Ensemble Empirical Mode Decomposition: a Noiseassisted Data Analysis Method**. Centre for Ocean Land Atmosphere Studies, Technical Report, vol. 193, p. 51. 2004

ZHANG, X.; LAI, K.K.;WANG, S. **A new approach for crude oil price analysis based on Empirical**. Energy Economics, v. 30, p. 905-918, 2008.

ZHANG, X.; LAI, K.K.;WANG, S. **Estimating the impact of extreme events on crude oil price: An EMD-based event analysis method**. Energy Economics, v. 31 p. 768-778, 2009.

ZHANG, X.;WANG, S. **Exploring the WTI crude oil price bubble process using the Markov regime switching model**. Energy Economics, v.30, p. 377-387, 2015