

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MBA EM FINANÇAS E GESTÃO DE RISCO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**COINTEGRAÇÃO E CAUSALIDADE ENTRE PREÇO  
DO PETRÓLEO E TAXAS DE CÂMBIO**

**JONATHAS DA SILVA NETO**  
Matrícula nº: 115230865

**ORIENTADOR: Prof. Manuel Alcino Ribeiro da Fonseca**

**Rio de Janeiro  
Dezembro de 2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MBA EM FINANÇAS E GESTÃO DE RISCO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**COINTEGRAÇÃO E CAUSALIDADE ENTRE PREÇO  
DO PETRÓLEO E TAXAS DE CÂMBIO**

---

**JONATHAS DA SILVA NETO**  
Matrícula nº: 115230865

**ORIENTADOR: Prof. Manuel Alcino Ribeiro da Fonseca**

**Rio de Janeiro  
Dezembro de 2018**

## RESUMO

Grandes transformações ocorreram no mercado financeiro mundial na última década. Uma com grande potencial de impacto a todos os países, independente de robustez econômica é a grande oscilação no preço de uma das principais commodities mundiais, o petróleo. O presente trabalho, através da análise de séries temporais, se propõe a investigar possíveis relações de causalidade entre as variáveis câmbio de países exportadores e importadores de petróleo, e o preço do petróleo, no período pós-última crise financeira mundial, de novembro de 2010 a fevereiro de 2016. O trabalho pode ser dividido em duas partes, análise qualitativa e quantitativa. Para a variável câmbio, serão explanados os países selecionados. Para a variável petróleo, são abordados os fatores de seleção do tipo de petróleo utilizado nos testes. Na análise quantitativa, utilizando os testes de co-integração de Johansen e causalidade de Granger, se avalia se as variáveis possuem relação de longo prazo e se existe causalidade entre as variáveis estudadas e, caso exista, qual é esta direção de causalidade.

Palavras-chave: Mercado de Câmbio, Petróleo, Causalidade de Granger, Co-Integração.

## **ABSTRACT**

Great changes have occurred in last decade in the world financial market. One with great potential for impact in all countries, regardless of economic robustness, is the great oscillation in the price of one of the main world commodities, oil. The present work, through the analysis of time series, proposes to investigate possible relations of causality between the exchange rate of exporting and importing countries and oil price in the period after the last global financial crisis, from November 2010 to February 2016. The work can be divided into two parts, qualitative and quantitative analysis. For the exchange rate variable, the selected countries will be explained. For the oil variable, the selection factors of the type of oil used in the tests are discussed. In the quantitative analysis, using the Johansen cointegration tests and Granger causality, we evaluate if the variables have a long-term relationship and if there is causality between the studied variables and, if there is, what is its direction.

Keywords: Foreign Exchange Market, Oil, Granger Causality, Co-Integration.

## SUMÁRIO

1. Introdução .....	1
1.1 Motivação e Justificativa .....	1
1.2 Objetivos .....	1
1.3. Estrutura do Trabalho .....	2
2. Revisão da Literatura .....	3
3. Ativos Seleccionados para Análise.....	5
3.1. Petróleo tipo Brent.....	5
3.2 Moedas dos Países Seleccionados .....	6
3.2.1. Produtor: Canadá .....	6
3.2.2 Consumidor: Brasil .....	8
4. Procedimentos Metodológicos.....	10
4.1 Estacionariedade .....	10
4.2. Escolha do número de defasagens .....	11
4.3 Co-Integração .....	12
4.4 Causalidade de Granger .....	14
5. Avaliação Empírica e Análise de Resultados .....	17
5.1 Amostra .....	17
5.2 Testes Econométricos.....	17
5.2.1 Teste de Dickey – Fuller Aumentado .....	17
5.2.2 Defasagens - Teste de Akaike e Schwarz .....	18
5.2.3 Teste de Johansen .....	20
5.2.4 Teste de Causalidade de Granger .....	22
6. Conclusões .....	24
Referências Bibliográficas .....	25

## **LISTA DE SIGLAS**

ADF – Teste de Dickey-Fuller Aumentado

AIC – Critério Akaike para número de Defasagens

BIC - Critério Schwarz para número de Defasagens

CAD – Dolar Canadense

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor - Amplo

SC - Schwarz

VAR – Vetor Autoregressivo

VEC – Modelo Vetorial de Correção de Erro

WTI – West Texas Intermediate

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:Tipos de Petróleo por regiões. ....	6
--	---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais produtores de petróleo (2015).....	7
Tabela 2: Produto Interno Bruto em Bilhões de Dólares (2015). ....	8
Tabela 3: Principais consumidores de petróleo (2015).....	9
Tabela 4: Teste de Raiz Unitária em Nível - ADF.....	18
Tabela 5: Comparativo de número de defasagens Brent x CAD.....	19
Tabela 6: Comparativo de número de defasagens Brent x Real.....	20
Tabela 7: Valores críticos Testes de cointegração Brent x CAD.....	21
Tabela 8: Valores críticos Testes de cointegração Brent x Real.....	21
Tabela 9: Testes de Causalidade de Granger Brent x CAD.....	22
Tabela 10: Testes de Causalidade de Granger Brent x Real.....	23

# Capítulo 1

## 1. Introdução

Durante a primeira década do século o mercado financeiro mundial sofreu importantes transformações, como a emergência econômica de países, quebra de grandes instituições financeiras americanas e o foco deste estudo, se econometricamente a grande variação no preço de uma das principais commodities mundiais, o petróleo, causou a variação na cotação de moedas expressas em dólar de países exportadores e importadores desta commodity. O estudo envolve o período pós crise financeira mundial, de novembro 2010 até fevereiro de 2016, e se baseia na análise de co-integração e causalidade entre câmbio e a *commodity*.

### 1.1 Motivação e Justificativa

É reconhecida a importância do petróleo para a sociedade mundial. Esta commodity no período pré crise (2008) chegou a ser negociada a US\$ 130 o barril, e após as mudanças macroeconômicas passou a ser negociada a 30% desse valor nos primeiros meses de 2016. Independente da nova dinâmica do mercado de petróleo, concorrentes e produtos substitutos da commodity, este trabalho tem como interesse analisar se nos novos patamares de preços, o petróleo tem capacidade de causar variações nas cotações das moedas de países exportadores e importadores. Esta análise será feita acerca de 1315 observações, compreendidas entre novembro de 2010 a fevereiro de 2016.

### 1.2 Objetivos

Verificar se existe relação de longo prazo entre a taxa de câmbio de um país grande produtor de petróleo em termos absolutos e o preço do petróleo no mercado internacional, e a taxa de câmbio de um país grande consumidor de petróleo em termos absolutos e o preço do petróleo no mercado internacional para o período testado.

### **1.3. Estrutura do Trabalho**

No Capítulo 1, são explicados os motivos que levaram a realização desse trabalho. No Capítulo 2, é abordada a revisão da literatura relevante para o desenvolvimento do tema em questão. No Capítulo 3 é explanado de forma qualitativa os ativos que foram utilizados nos testes econométricos. No Capítulo 4, são explicados os procedimentos metodológicos sobre como e quais serão os testes realizados, para uma posterior avaliação empírica no Capítulo 5. Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões dos testes realizados.

## Capítulo 2

### 2. Revisão da Literatura

Estudos foram realizados com o objetivo de verificar a causalidade entre ativos do mercado financeiro. Apresenta-se aqui uma breve revisão desses trabalhos.

Carneiro (1997) apresenta uma introdução aos métodos de análise de causalidade em economia. Discute-se os testes de causalidade de Granger, Sims e o teste de causalidade para variáveis co-integradas, além de uma proposição de sequência de testes para verificação da causalidade.

Kanas (1998) estudou a relação entre o mercado americano e os seis maiores mercados de ações na Europa: Alemanha, Suíça, Grã-Bretanha, França, Itália e Holanda. Os resultados mostraram que o mercado americano não apresentava relações de longo prazo com os mercados europeus.

Cashin, Céspedes e Sahay (2002) realizaram um estudo sobre Austrália, Canadá, Nova Zelândia e Brasil, países que são grandes exportadores de *commodities*. Os autores analisaram a co-integração entre índices de preços de *commodities* específicos para cada país e a taxa de câmbio real efetiva, de 1980 a 2002. Dentre os quatro países mencionados, apenas o primeiro possuía uma relação de longo prazo estável entre os preços de *commodities* e a taxa de câmbio real.

Silva, Santo e Costa (2003) analisaram as relações de longo prazo existentes entre os preços da soja em valores nominais praticados nos mercados brasileiro e norte-americano no período de janeiro de 1995 a agosto de 2002. Os resultados obtidos a partir das séries temporais evidenciaram a existência de equilíbrio de longo prazo entre os preços da soja no Brasil e nos Estados Unidos.

Kabashima (2005) estuda a aplicação da estratégia *Pairs Trading* no mercado acionário brasileiro. Este trabalho busca indentificar pares de ações que tenham movimentos de preço semelhantes e também analisar o diferencial entre seus preços. A metodologia para a

identificação desses pares de ações que descrevem movimentos semelhantes vem do conceito de teste de co-integração. Essa metodologia é aplicada sobre as ações do índice Bovespa de 04 de janeiro de 1993 a 30 de junho de 2005. Foi verificada a viabilidade da estratégia de *Pairs Trading* no mercado financeiro brasileiro, mais especificamente sobre as ações que compõe o índice Bovespa.

Bini, Canever e Denardim (2015) testaram a cointegração e causalidade entre os preços de energia e commodities agrícolas nas condições comerciais do Brasil. Utilizaram dados de preço mensais de 2000 a 2012 das commodities petróleo, etanol, cana, milho, soja, taxa de câmbio e preços de milho e etanol nos Estados Unidos.

Almeida (2016) estudou a relação entre o preço do petróleo e quatro indicadores macroeconômicos da economia brasileira, índices de produção industrial, o índice Bovespa, o IPCA e a taxa de câmbio entre janeiro de 2002 e outubro de 2015.

Pereira, Silva e Maia (2017) realizaram procedimentos econométricos relacionados com séries temporais: testes de raiz unitárias, causalidade de Granger, cointegração de Johansen, estimação e análise do modelo Vetorial de Correção de Erros (VEC), decomposição da variância dos erros de previsão e estimação da função de resposta a impulso com vista a analisar os efeitos da variação de taxa de câmbio real efetiva e dos preços de petróleo sobre os preços das commodities brasileiras.

## Capítulo 3

### 3. Ativos Selecionados para Análise

#### 3.1. Petróleo tipo Brent

Atualmente dois tipos de petróleo são os principais referenciais de preço (*benchmarks*) nos mercados internacionais. O tipo Brent é referência no mercado europeu e asiático e o tipo WTI (West Texas Intermediate) serve como base para preços no mercado norte americano. O petróleo Brent é explorado no Mar do Norte, mais especificamente nos campos Brent, controlado pela Royal Dutch Shell, e Ninian. A entrega do Brent é feita no terminal de Sullom Voe no norte do Reino Unido (Associação de Investidores, 2011).

O outro tipo de petróleo que também é referência internacional, o WTI (West Texas Intermediate), é explorado na região oeste do Texas e seu ponto de entrega é na cidade de Cushing, em Oklahoma. O petróleo do Texas abastece grande parte das refinarias do meio oeste americano e da região do Golfo do México. Ele é considerado de fácil refino e ideal para a conversão em gasolina (Associação de Investidores, 2011).

Cushing é uma importante cidade para a indústria de petróleo nos Estados Unidos. O local situa-se em Payne County, Oklahoma, e é fundamental por conectar a oferta de petróleo proveniente da Costa do Golfo aos consumidores do norte do país. Nesta cidade ocorre a maioria das negociações do mercado físico de petróleo. Os estoques de Cushing, divulgados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, também são muito importantes para a formação de preços do WTI, pois o lugar além de ser ponto de entrega dos barris de petróleo, é próximo à região onde estão as maiores refinarias dos Estados Unidos. Com isso, qualquer queda nos níveis de estoque na região de Cushing pode afetar o preço do petróleo tipo WTI (Associação de Investidores, 2011).

Devido a este fator de influência nas cotações do WTI e por ser específico do Texas, no estudo de caso será usado como proxy o preço do petróleo Brent. Como visto anteriormente, o Brent é formado por petróleo de várias regiões, englobando 65% das diferentes variedades de petróleo mundial sendo assim mais robusto que o WTI

(Investopedia). Na figura 1 abaixo, pode-se visualizar e entender a maior área de influência do petróleo tipo Brent.

**Figura 1:Tipos de Petróleo por regiões.**



Fonte: Intercontinental Exchange.

## 3.2 Moedas dos Países Selecionados

### 3.2.1. Produtor: Canadá

A palavra *commodity* pode ser atribuída a produtos ou bens homogêneos com baixo grau de manipulação, ou seja, que não são manufaturados. Como exemplos, podem ser destacados os produtos agropecuários, as extrações minerais, e os recursos naturais, como o petróleo, a soja e o ouro.

No caso de países que têm commodities como importantes itens na pauta de exportação, é razoável supor que a flutuação dos preços internacionais dessas commodities acabe por contribuir para um choque real na determinação das suas taxas de câmbio. Pode-se esperar, portanto, que esses países possuam uma *commodity currency*, isto é, que as taxas

reais de câmbio sejam influenciadas de forma clara pela trajetória dos preços dessas commodities nos mercados internacionais.

Para o estudo de caso que será feito no decorrer deste trabalho, foi selecionado a moeda de um país entre os dez maiores produtores de petróleo no mundo (British Petroleum) e que sua economia está entre as maiores do mundo, dólar canadense.

Na tabela 1, abaixo, pode-se verificar a representatividade da produção de petróleo do Canadá no volume de produção mundial.

Tabela 1: Principais produtores de petróleo (2015).

<b>País</b>	<b>Volume (Milhares de Barris dia)</b>	<b>% Total</b>
Estados Unidos	11.64	19,7
Arábia Saudita	11.5	19,5
Rússia	10.83	18,4
Canadá	4.3	7,3
China	4.24	7,2
Emirados Árabes	3.71	6,3
Irã	3.61	6,1
Iraque	3.28	5,6
Kuwait	3.12	5,3
México	2.78	4,7

Fonte: British Petroleum

Na tabela 2, o posicionamento da economia canadense entre as maiores economias mundiais.

Tabela 2: Produto Interno Bruto em Bilhões de Dólares (2015).

Posição	País	US\$ bilhões
1º	Estados Unidos	18.569,10
2º	China	11.218,28
3º	Japão	4.938,64
4º	Alemanha*	3.466,64
5º	Reino Unido	2.629,19
6º	França	2.463,22
7º	Índia	2.256,40
8º	Itália	1.850,74
9º	Brasil	1.798,62
10º	Canadá	1.529,22
11º	Coreia do Sul	1.411,25
12º	Rússia	1.280,73
13º	Austrália	1.258,98
14º	Espanha	1.232,60
15º	México	1.046,00

Fonte: Fundo Monetário Internacional.

### 3.2.2 Consumidor: Brasil

Pelo lado do consumo, existem os países que mais se destacam como os Estados Unidos, China e Japão.

O Brasil, como uma nação emergente e embora produtor, figura entre os grandes consumidores mundiais, por isso o Real expresso em dólar foi a moeda selecionada entre os países maiores consumidores.

Na tabela 3 abaixo são listados os dez países maiores consumidores de petróleo no ano de 2015.

Tabela 3: Principais consumidores de petróleo (2015).

<b>País</b>	<b>Volume (Milhares de Barris dia)</b>	<b>% Total</b>
Estados Unidos	18.68	35
China	10.22	19,1
Japão	4.71	8,8
Índia	3.65	6,8
Rússia	3.17	5,9
Arábia Saudita	2.93	5,5
Brasil	2.80	5,2
Coréia do Sul	2.45	4,6
Canadá	2.41	4,4
Alemanha	2.35	4,5

Fonte: British Petroleum.

## Capítulo 4

### 4. Procedimentos Metodológicos

Para realizar o objetivo desta monografia, que é investigar se existem relações de causalidade entre cotações cambiais de países exportadores e importadores de petróleo e o preço do petróleo, são desenvolvidas algumas etapas. Uma delas é a realização do teste de causalidade de Granger e, nesta parte, alguns procedimentos precisam ser realizados nas séries de dados a ser testada para que os resultados gerados pelo teste apresentem confiabilidade e permitam tirar conclusões embasadas. Segundo Carneiro (1997) os procedimentos são: Teste de Estacionariedade, Escolha do número de defasagens, Teste de Co-Integração, Teste de Causalidade de Granger e o Teste F.

#### 4.1 Estacionariedade

Em regressões com séries de tempo, é necessário verificar se as variáveis são estacionárias, para se evitar o problema da chamada regressão espúria ou duvidosa. A regressão espúria ocorre quando se tenta regredir variáveis não estacionárias que apresentam tendências semelhantes ao longo do tempo. A principal importância da hipótese de estacionariedade das séries temporais utilizadas nesse trabalho é evitar regressões espúrias. Essas regressões podem obter coeficientes de explicação ( $R^2$ ) com aparente significância estatística e, no entanto, sem sentido como destaca YULE (1926).

De acordo com Gujarati (2006), uma série temporal é estacionária quando sua média e variância são constantes ao longo do tempo, e o valor da covariância entre dois períodos de tempo depende apenas da distância ou defasagem entre os dois períodos, e não do período de tempo efetivo em que a covariância é calculada. Para se testar a estacionariedade de uma série temporal, alguns métodos podem ser utilizados, como análise gráfica, função de autocorrelação e correlograma, e os testes de raiz unitária. Os testes de raiz unitária mais utilizados são o teste de Dickey – Fuller Simples (pressupõem que os termos de erro  $u_t$  não são correlacionados) e o teste de Dickey – Fuller Aumentado, usado no caso de  $u_t$  ser ou não correlacionado.

Para testar a estacionariedade das séries, será utilizado neste trabalho, o teste ADF (Dickey – Fuller Aumentado), no sentido de verificar a ordem de integração das variáveis de interesse, ou seja, é preciso verificar a existência ou não de raízes unitárias nas séries temporais. Os testes ADF consistem na estimação das seguintes equações:

$$\Delta Y_t = \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta_i \Delta Y_{t-i} + u_t - \text{Passeio Aleatório}(PA) \text{ sem deslocamento}(1)$$

$$\Delta Y_t = \alpha + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta_i \Delta Y_{t-i} + u_t - PA \text{ com deslocamento}(2)$$

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \gamma Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \delta_i \Delta Y_{t-i} + u_t - PA \text{ com deslocamento e tendência}(3)$$

Nas Equações (1), (2) e (3) estimadas, as hipóteses nula e alternativa a serem testadas são, respectivamente,  $H_0 : \gamma = 0$  e  $H_1 : \gamma < 0$ . Se o valor da estatística ADF (teste tau) for maior (em módulo) que o valor crítico, rejeita-se a hipótese de que a série temporal seja não estacionária. É importante destacar que para verificar se  $\gamma = 0$ , ou seja, hipótese nula, o valor t calculado não segue a distribuição t de Student usual, nem mesmo para grandes amostras; isto é, não tem uma distribuição normal assintótica.

## 4.2. Escolha do número de defasagens

Um ponto importante na análise da relação de causalidade entre duas variáveis diz respeito à escolha do número apropriado de defasagens a ser utilizado nas regressões (1), (2) e (3). Segundo Maddala (1992), o número escolhido de defasagens é uma decisão arbitrária do pesquisador. A principal razão para essa avaliação é que há vários métodos alternativos para se determinar o tamanho ótimo de defasagens em um modelo. Gujarati (2006), no entanto, alerta para o fato de que a análise de causalidade é bastante sensível ao número de defasagens escolhido, podendo a causalidade se estabelecer no sentido contrário ao correto.

Além disso, a escolha de poucas defasagens pode causar um sério viés devido à omissão de variáveis relevantes (estimador de mínimos quadrados das variáveis que permanecem serão inconsistentes e as variâncias e erros-padrão desses coeficientes serão incorretamente calculados); por outro lado, a escolha de mais defasagens do que o necessário pode levar ao viés de inclusão de variáveis irrelevantes, que é menos sério do que no caso anterior (os coeficientes podem ser estimados consistentemente pelo método de mínimos quadrados, mas tendo-se em mente que suas variâncias podem ser menos eficientes).

Os testes mais conhecidos e mais utilizados em trabalhos empíricos para a escolha do tamanho ótimo das defasagens devem-se a Schwarz (SC) e Akaike (AIC), Carneiro (1997). O procedimento consiste em estimar regressões de modelos auto-regressivos de diferentes ordens. Aquela que representar o menor valor para os critérios SC e AIC, representa o modelo mais apropriado.

O Critério Akaike (AIC) é calculado:

$$AIC = \ln \sigma^2 + \left(\frac{2}{T}\right) (\text{número de parâmetros}) \quad (4)$$

Similarmente, para o critério de Schwarz:

$$SC = \ln \sigma^2 + \left(\frac{\ln T}{T}\right) (\text{número de parâmetros}) \quad (5)$$

Onde  $\sigma^2$  é a soma dos quadrados dos resíduos estimados no processo auto-regressivo da ordem  $p$  e  $T$  é o número de observações.

### 4.3 Co-Integração

Uma versão mais moderna do teste de causalidade de Granger, que permite que se identifiquem possíveis relações de causalidade entre duas variáveis originárias de uma mesma tendência de longo prazo, pode ser derivada do método de correção dos erros, proposto por Engle e Granger (1987). O método de Engle e Granger modifica o teste padrão de causalidade de Granger na medida em que incorpora um possível efeito de longo prazo numa análise de curto prazo, a análise de relações de longo prazo é parte integrante da chamada análise de co-integração. Os testes de co-integração entre duas ou mais variáveis econômicas permitem aceitar ou rejeitar a relação de longo prazo existente entre essas variáveis.

Antes de testar a co-integração, verifica-se a ordem de integração das variáveis, utilizando-se o teste da raiz unitária de Dickey – Fuller Aumentado (ADF), conforme descrito anteriormente. É necessário observar se as séries são integradas de mesma ordem, pois as variáveis precisam ter a mesma ordem de integração.

Para verificar a existência de co-integração entre um conjunto de variáveis econômicas, Engle e Granger (1987) propuseram testar a existência de uma raiz unitária no

vetor dos resíduos de regressão de co-integração. Assim, o procedimento proposto por Engle e Granger é composto por duas etapas: (i) verificação da ordem de integração das variáveis e (ii) testar a relação de equilíbrio entre as variáveis.

A primeira etapa precede ao teste introduzido por Dickey e Fuller (1979) para a presença de uma raiz unitária em cada uma das séries de  $Y_t$  e  $X_t$ , através das seguintes equações:

$$\Delta Y_t = c_1 + \varphi Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \varphi_j \Delta Y_{t-j} + u_t \quad (6)$$

$$\Delta X_t = c_2 + \varphi X_{t-1} + \sum_{j=1}^p \varphi_j \Delta X_{t-j} + u_t \quad (7)$$

Onde, é testada a existência de uma raiz unitária, isto é, a hipótese nula de que  $\varphi = 0$ .

A segunda etapa é testar a relação de equilíbrio entre as variáveis, ou seja, caso os testes anteriores indiquem que as séries são integradas de ordem um, ou I (1), deve-se proceder à estimação da regressão de co-integração, utilizando a seguinte função:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + u_t \quad (8)$$

Se os resíduos obtidos  $\hat{u}_t$ , forem estacionários, ou seja, I(0), então as variáveis e  $Y_t$  e  $X_t$  são co-integradas de ordem (1,1).

Pelo método dos mínimos quadrados ordinários, pode-se estimar o seguinte modelo:

$$\Delta \hat{u}_t = \gamma_1 \hat{u}_{t-1} + \sum \gamma_2 \Delta \hat{u}_{t-1} + u_t \quad (9)$$

A rejeição da hipótese nula de que  $\gamma_1 = 0$ , nos permite concluir que a série dos resíduos não contém uma raiz unitária, sendo, portanto estacionária. Logo, as variáveis e  $Y_t$  e  $X_t$  são co-integradas.

O método proposto por Engle e Granger, para análise das relações de co-integração, possui algumas limitações. Esse teste é usado apenas no caso de única relação de equilíbrio, ou seja, único vetor de co-integração. Quando existir mais de uma variável explicativa, existirão outras relações de equilíbrio e, portanto, esse teste não será mais adequado. O teste mais indicado nesses casos é o procedimento de Johansen e Juselius (1990,1992).

Este procedimento analisa a hipótese de existirem r vetores de co-integração.

A hipótese nula de que existem  $r$  vetores co-integrados é testado utilizando a estatística traço ( $\lambda_{trace}$ ) e a estatística do máximo autovalor ( $\lambda_{max}$ ).

O teste traço é dado por:

$$\lambda_{trace} = -2 \ln(Q) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \lambda_i) \quad (10)$$

Onde:  $Q$  = (função de verossimilhança restrita maximizada/função de verossimilhança sem restrição maximizada).

O teste máximo autovalor é dado por:

$$\lambda_{max} = -T \ln(1 - \lambda_{r+1}) \quad (11)$$

onde:  $\lambda_i$  são os valores estimados de raízes e  $T$  o número de observações.

Se os valores calculados de  $\lambda_{trace}$  e  $\lambda_{max}$  são superiores aos valores críticos, então rejeita-se a hipótese nula de não co-integração.

No estudo de caso, mesmo tendo apenas uma variável explicativa, será utilizado o procedimento de Johansen, que por ser mais geral engloba o procedimento de Engle e Granger.

#### 4.4 Causalidade de Granger

O principal teste de causalidade utilizado em artigos acadêmicos deve-se ao econometrista Clive Granger, e se baseia na proposição bastante simples que o futuro não pode causar o passado nem o presente. Por exemplo, se o evento  $A$  ocorre depois do evento  $B$ , sabe-se que  $A$  não pode causar  $B$ . Por outro lado, se  $A$  ocorre antes que  $B$ , isso não significa que  $A$ , necessariamente, cause  $B$ . O exemplo clássico são as previsões de chuva do meteorologista. O fato de a previsão ocorrer primeiro do que a chuva não implica que o meteorologista cause a chuva. Na prática, quando se tem duas séries temporais  $A$  e  $B$ , se está interessado em saber se  $A$  precede  $B$ , ou  $B$  precede  $A$ , ou se  $A$  e  $B$  ocorrem simultaneamente. Essa é a essência do teste de causalidade de Granger, que não se propõe a identificar uma relação de causalidade no seu sentido de endogeneidade.

Ao considerar duas séries de tempo  $X_t$  e  $Y_t$ , o teste de causalidade de Granger assume que a informação relevante para a predição das respectivas variáveis  $X$  e  $Y$  está contida apenas nas séries de tempo sobre essas duas variáveis. Dessa forma, uma série de tempo estacionária  $X$  causa, no sentido de Granger, outra série estacionária  $Y$  se melhores predições estatisticamente significativas de  $Y$  podem ser obtidas ao incluirmos valores defasados de  $X$  aos valores defasados de  $Y$ . Em termos mais formais, o teste envolve estimar as seguintes regressões:

$$X_t = \sum_{i=1}^n \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \beta_j X_{t-j} + u_{1t} \quad (12)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^n \lambda_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^n \varphi_j X_{t-j} + u_{2t} \quad (13)$$

Onde,  $u_{it}$  são os resíduos que se pressupõem serem não-correlacionados.

A Equação (12) postula que valores correntes de  $X$  estão relacionados a valores passados do próprio  $X$  assim como a valores defasados de  $Y$ ; A equação (13), por outro lado, postula um comportamento similar para a variável  $Y$ . Nada impede que as variáveis  $X$  e  $Y$  sejam representadas na forma de taxas de crescimento, o que, aliás, tem sido quase que a regra geral na literatura, uma vez que é difícil achar variáveis que sejam estacionárias em seus níveis.

Após a estimação, quatro casos são possíveis:

- (i). Causalidade unilateral de  $Y$  para  $X$ : quando os coeficientes estimados na Equação (12) para a variável defasada  $Y$  são conjuntamente diferentes de zero ( $\sum \alpha_i \neq 0$ ), e quando o conjunto de coeficientes estimados na Equação (13) para a variável  $X$  não forem estatisticamente diferentes de zero ( $\sum \varphi_j = 0$ ).
- (ii). Causalidade unilateral de  $X$  para  $Y$ : quando o conjunto de coeficientes defasados para a variável  $Y$  na Equação (12) não for estatisticamente diferente de zero ( $\sum \alpha_i = 0$ ), e o conjunto de coeficientes defasados para a variável  $X$  na Equação (13) for ( $\sum \varphi_j \neq 0$ ).
- (iii). Bi causalidade ou simultaneidade: quando os conjuntos de coeficientes defasados de  $X$  e  $Y$  forem estatisticamente diferentes de zero em ambas as regressões.
- (iv). Independência: quando, em ambas as regressões, os conjuntos de coeficientes defasados de  $X$  e  $Y$  não forem estatisticamente diferentes de zero.

Em termos mais gerais, desde que o futuro não pode prever o passado, se a variável X (Granger) causa a variável Y, então mudanças em X devem preceder temporalmente mudanças em Y.

Para a realização do teste de causalidade de Granger todos os procedimentos citados anteriormente precisam ser efetuados, estacionariedade das séries, escolha do número de defasagens e o teste de co-integração. Assim sendo, as etapas envolvidas para o teste de causalidade de Granger são:

- (a). Cálculo da regressão de X contra todos os termos de X defasados, mas sem a inclusão das variáveis defasadas de Y nesta regressão. A partir dela, se obtém a soma dos quadrados dos resíduos,  $SQR_R$ .
- (b). Cálculo da regressão incluindo os termos de Y defasados. A partir dessa regressão, se obtém  $SQR_{UR}$ .
- (c). A hipótese nula é  $H_0: \sum \alpha_i = 0$ , isto é, os termos de Y defasados não cabem na regressão.
- (d). Para testar a hipótese nula, se aplica o teste F dado por:

$$F = \frac{(SQR_R - SQR_{UR})/m}{SQR_{UR}/(n-k)} \quad (14)$$

que segue a distribuição F com m e (n - k) graus de liberdade. No presente caso, m é igual ao número de termos de Y defasados e k é o número de parâmetros estimados na regressão sem restrição. Se o valor de F calculado for superior ao valor crítico de F no nível de significância de 5%, rejeita-se a hipótese nula e, nesse caso, os termos de Y defasados cabem na regressão. Em outras palavras, a variação de Y causa a variação de X. As etapas de (a) a (d) podem ser repetidas para testar a Equação (13), isto é, para testar se a variação de X causa a variação de Y.

## **Capítulo 5**

### **5. Avaliação Empírica e Análise de Resultados**

#### **5.1 Amostra**

Para o presente estudo de caso, a amostra compreende dados diários entre novembro de 2010 e fevereiro de 2016, contemplando 1.315 observações para cada série de dados. Cabe ressaltar que a fonte dos dados utilizados é o Bloomberg e os softwares utilizados para efetuar os testes foram o Gretl e Eviews.

Como escrito no decorrer deste trabalho, as séries utilizadas serão: Real, Dólar Canadense e o Brent Crude Oil, onde o teste de causalidade de Granger será feito através de pares. Em cada par será testado uma moeda e o petróleo, por exemplo, se o Real causa o Brent e vice versa, e assim sucessivamente.

#### **5.2 Testes Econométricos**

##### **5.2.1 Teste de Dickey – Fuller Aumentado**

O teste de estacionariedade utilizado foi o Dickey- Fuller aumentado elaborado com base na Equação 3 – Capítulo 4 (Passeio Aleatório com deslocamento e tendência) por ser um modelo mais geral.

Na tabela 4 abaixo, há os resultados dos testes realizados.

Tabela 4: Teste de Raiz Unitária em Nível - ADF

Variável	Constante	Tendência	P-Valor	Valor Crítico		Resultado
					10%	
CAD	Sim	Sim	0,9548		0,1	Não Estacionária
REAL	Sim	Sim	0,9539		0,1	Não Estacionária
BRENT	Sim	Sim	0,9759		0,1	Não Estacionária

**CAD** = Dólar Canadense

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pelo critério Akaike (AIC) incluindo 0 defasagens de (1-L), com ordem de defasagem 23, todas as variáveis tem p-valor acima de 10% para o teste de estatístico de Dickey –Fuller Aumentado. Portanto, a hipótese nula ( $H_0$ : Série não estacionária) não pode ser rejeitada, ou seja, a série em nível não é estacionária e possui raiz unitária para todas as variáveis testadas.

### 5.2.2 Defasagens - Teste de Akaike e Schwarz

Uma vez observado que as variáveis petróleo e moedas não são estacionárias, a próxima etapa esta relacionada à escolha do número de defasagens a serem incluídas no teste de causalidade de Granger. Realizou-se a seleção de defasagens VAR com um número máximo de dezdefasagens para cada variável, aplicando-se os critérios de informação de AIC (Akaike) ou Schwarz (BIC) na escolha dessas defasagens. Optou-se pelo critério que apresenta mais defasagens em cada teste.

## Teste para o número de Defasagens

### Brent x Dólar Canadense

A Tabela 5 mostra que o melhor modelo a ser escolhido para a relação Brent x Dólar Canadense, é o modelo Akaike. Para esta regressão, o menor valor de Akaike foi obtido ajustando o modelo com duas defasagens para cada variável.

Tabela 5: Comparativo de número de defasagens Brent x CAD

Defasagens	log.L	p(LR)	AIC	BIC
1	3784,779		-5,80027	-5,788373*
2	3787,341	0,02359	-5,802671*	-5,786802
3	3788,305	0,16514	-5,80261	-5,782778
4	3789,051	0,22182	-5,80223	-5,778422
5	3789,593	0,29772	-5,80152	-5,773753
6	3789,593	0,97829	-5,79999	-5,768252
7	3791,331	0,06225	-5,80112	-5,765417
8	3792,818	0,08463	-5,80187	-5,762197
9	3794,186	0,09813	-5,80243	-5,758794
10	3794,248	0,72532	-5,80099	-5,753388

Fonte: Elaborada pelo autor.

### Brent x Real

Para a relação Brent x Real, o número de defasagens foi determinado através do critério de Akaike, onde são testadas diferentes defasagens e escolhida aquela onde o valor de Akaike é menor. Neste caso, o menor valor de AIC foi obtido ajustando o modelo com nove defasagens para cada variável, conforme Tabela 6.

Tabela 6: Comparativo de número de defasagens Brent x Real

Defasagens	log.L	p(LR)	AIC	BIC
1	3677,688		-5,63603	-5,624123*
2	3679,506	0,05653	-5,63728	-5,621411
3	3680,134	0,26261	-5,63671	-5,616872
4	3682,675	0,02418	-5,63907	-5,615269
5	3683,379	0,23543	-5,63862	-5,610847
6	3683,399	0,84094	-5,63712	-5,605377
7	3684,548	0,12949	-5,63734	-5,601639
8	3685,934	0,09596	-5,63794	-5,598264
9	3688,172	0,03436	-5,639835*	-5,596196
10	3688,211	0,77986	-5,63836	-5,590755

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 5.2.3 Teste de Johansen

Após a verificação da presença de raízes unitárias nas séries, sendo as mesmas integradas de mesma ordem, ou seja, necessitando as séries do mesmo número de diferenciações para se tornarem estacionárias procedem-se os testes de co-integração. Em existindo relações de co-integração entre asséries, diz-se que as mesmas apresentam uma relação linear estável no longo prazo. O teste de co-integração visa determinar o número de vetores de co-integração que serão necessários no sistema.

Para identificar a existência de co-integraçãofoi usado o procedimento de Johansen. Ao contrário de outros métodos, ele permitetestar e estimar a presença de vários vetores e não só de um único vetor de co-integração. No teste utilizado, a hipótese nula a ser testada é não existência de vetor de co-integração e a hipótese alternativa é a existência de pelo menos um vetor de co-integração

## Brent x Dólar Canadense

A Tabela 7 mostra que para as variáveis Brent e Dólar Canadense existe equilíbrio de longo prazo, ou seja, observa-se a existência de co-integração. O valor calculado é 210,4174 que é maior que o valor crítico 3,84.

Tabela 7: Valores críticos Testes de cointegração Brent x CAD

<b>Número de Co-integrações</b>	<b>Valor Próprio</b>	<b>Estatística Traço</b>	<b>Valores Críticos 0,05%</b>	<b>Prob.</b>
Nenhuma	0.181703	472.9107	15.49471	0.0001
No máximo 1	0.148492	210.4174	3.841466	0.0001

Fonte: Elaborada pelo autor.

## Brent x Real

A estatística traço, valor calculado, para a relação Brent e Real também foi superior ao valor crítico. Neste caso, apresentando a existência de equilíbrio de longo prazo, conforme mostrado na Tabela 8.

Tabela 8: Valores críticos Testes de cointegração Brent x Real

<b>Número de Co-integrações</b>	<b>Valor Próprio</b>	<b>Estatística Traço</b>	<b>Valores Críticos 0,05%</b>	<b>Prob.</b>
Nenhuma	0.182415	469.1447	15.49471	0.0001
No máximo 1	0.145295	205.5110	3.841466	0.0001

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 5.2.4 Teste de Causalidade de Granger

Após a realização dos testes que precedem o teste de causalidade de Granger, apresentados no decorrer deste trabalho, estacionariedade das séries, escolha do número de defasagens e a presença de pelo menos um vetor de co-integração, o teste de Granger pode ser efetuado. O teste de causalidade no sentido Granger foi realizado de acordo com o número de defasagens observado no item 5.2.2. Foram utilizados para identificar as relações entre as variáveis, testes de hipóteses em nível de significância de 5%, indicando a rejeição da hipótese nula de que a primeira variável não causa no sentido Granger a segunda.

### Brent x Dólar Canadense

No teste para as variáveis Brent e Dólar Canadense, foi considerado duas defasagens para as variáveis segundo critério de Akaike, conforme mostrado na Tabela 5 no item 5.2.2.

A Tabela 9 mostra que hipótese nula deve ser aceita, pois as variações no Dólar Canadense não causam no sentido Granger variações no Brent, resultado confirmado pelo valor F e p. Não há relação de causalidade no sentido Granger da variação do Brent para o Dólar Canadense.

Tabela 9: Testes de Causalidade de Granger Brent x CAD

<b>Direção da Causalidade</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob.</b>	<b>Decisão</b>
CAD "não causa" Brent	3.23972	0.0395	Aceitar
Brent "não causa" CAD	0.61908	0.5386	Aceitar

**Legenda:**

CAD = Dólar Canadense

Fonte: Elaborada pelo autor.

## Brent x Real

Para a realização do teste de causalidade de Granger para as variáveis Brent e Real, foram consideradas nove defasagens entre as variáveis, conforme mostrado na Tabela 6 no item 5.2.2.

O resultado apresentado na Tabela 10 mostra que não há direção de causalidade da variação do Real para a variação do Brent, já que o valor F estimado é menor que seu valor crítico 3,84 e o valor p é maior que 0,05. Não há causalidade inversa da variação do Brent para a variação do Real, já que o valor de p é estatisticamente insignificante, ou seja, a hipótese nula deve ser aceita.

Tabela 10: Testes de Causalidade de Granger Brent x Real

<b>Direção da Causalidade</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Prob.</b>	<b>Decisão</b>
Real "não causa" Brent	0.9730	0.4606	Aceitar
Brent "não causa" Real	1.06135	0.3888	Aceitar

Fonte: Elaborada pelo autor.

## Capítulo 6

### 6. Conclusões

A análise qualitativa apresentada no decorrer deste trabalho informou que os países detentores de *commodity currencies* apresentam em sua balança comercial uma parcela significativa de exportação ou importação de commodities. Neste trabalho foram utilizadas as moedas Real e Dólar Canadense. A commodity escolhida para o estudo foi o petróleo do tipo Brent, principal fonte energética consumida no mundo e de maior abrangência dentre os tipos de petróleo.

A análise econométrica realizada neste trabalho produziu alguns resultados com base nos testes de co-integração de Johansen e causalidade de Granger para o período analisado. O teste de co-integração mostrou que todas as variáveis moedas analisadas, Dólar Canadense e Real, possuem relação de longo prazo ou de equilíbrio com o petróleo tipo Brent, tornando possível o teste de causalidade de Granger. Cabe ressaltar que a questão examinada é se estatisticamente pode-se detectar uma direção de causalidade quando existe uma relação de *lead-lag* (defasagem) entre as variáveis. O teste de causalidade mostrou independência das moedas analisadas para o Brent, ou seja, variações nas moedas estudadas não causam no sentido de Granger variações no Brent.

Não houve causalidade estabelecida no trabalho em questão, então não se pode usar a variável moeda, mais precisamente Dólar Canadense e Real para prever possíveis variações no preço do petróleo tipo Brent.

Para o período analisado, muitas outras variáveis macroeconômicas sofreram substanciais alterações, algumas estáticas para o período analisado, como taxa de juros, e outras em constante alteração tanto para cima como para baixo, como atividade econômica, taxa de desemprego e inflação, o que possivelmente possa ajudar na compreensão da variação de preços no mercado de petróleo além de suas características intrínsecas.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA, Pedro Henrique Acioli. **Causalidade e Cointegração entre os preços do petróleo no mercado internacional e indicadores macroeconômicos da economia brasileira.** 2016

BINI, Ana, CANEVER, Mário Duarte e DENARDIM, Anderson. **Correlação e causalidade entre os preços de commodities e energia.** 2015

CARNEIRO, Francisco. **A Metodologia dos Testes de Causalidade em Economia.** 1997

CASHIN, Paul, CÉSPEDES, Luis e SAHAY, Ratna. **Commodity Currencies.** International Monetary Fund: Finance and Development, 2003. Disponível em: <<http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2003/03/cash.htm>>

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. **Distribution of the estimator for auto-regressive time series with a unit root.** Journal of the American Statistical Association, v. 74, p. 427-31, 1979.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. **Cointegration and error correction: representation, estimation and testing.** *Econometrica*, Chicago, v. 55, n. 2, p. 251-76, Mar. 1987.

GUJARATI, Damodar. **Econometria Básica**, 4ª ed. São Paulo: Campus, 2006.

JOHANSEN, S., JUSELIOUS, K., 1990. **Maximum likelihood estimation and inference on cointegration - with applications to the demand for money.** Oxf. Bull. Econ. Stat. 52, 169-210.

JOHANSEN, S., JUSELIOUS, K., 1992. **Structural hypotheses in a multivariate cointegration analysis of the PPP and UIP for UK.** J. Econom. 53, 211-244

KABASHIMA, E. **Pairs Trading: Aplicação no mercado acionário brasileiro.** 2005. 56 f. Dissertação (Mestrado em Finanças e Economia Empresarial) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

KANAS, Angelo. Linkages between the US and European equity markets: further evidence from cointegration tests. **Applied Financial Economics**, v.8, 1998, pp. 607 -614.

MADDALA, G.S. **Introduction to Econometrics**, 2ª ed. Nova York: MacMillan, 1992.

SILVA, W., SANTO, E. e COSTA, L. Co-integração entre os preços da soja cotados nos mercados brasileiro e norte-americano: Uma análise empírica. **Caderno de Pesquisas em Administração**, FEA-USP, São Paulo, v. 10, nº 3, p. 69-78, julho/setembro 2003.

**PEREIRA, E., SILVA, J., MAIA, S. Os Efeitos da Taxa de Câmbio e dos Preços do Petróleo nos Preços Internacionais das Commodities Brasileiras. 2017.**

**YULE, G. Udny Why do we Sometimes get Nonsense-Correlations between Time-Series?--A Study in Sampling and the Nature of Time-Series, Journal of the Royal Statistical Society, Vol. 89, No. 1. (Jan., 1926), pp. 1-63.**

## SITES

- American Petroleum Institute :<<http://www.api.org>>
- Associação de Investidores: <http://www.associacaodeinvestidores.com/index.php/artigos-e-teses/63-artigos/188-por-detras-das-cotacoes-do-petroleo-wti-de-nova-iorque-e-brent-de-londres>
- Banco Central do Brasil :<<http://www.bcb.gov.br>>
- Banco Central do Canadá :<<http://www.bankofcanada.ca>>
- British Petroleum :<<http://www.bp.com>>
- EIA / DOE - Energy Information Administration (Department of Energy):  
<<http://www.eia.doe.gov>>
- International Energy Agency – IEA :<<http://www.iea.org>>
- New York MercantileExchange :<<http://www.nymex.com>>
- Investopedia: <https://www.investopedia.com/articles/investing/102314/understanding-benchmark-oils-brent-blend-wti-and-dubai.asp>).