

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

ALEXANDRE FRANCISCO QUINGURI

**UM ESTUDO SOBRE A ARBITRAGEM DE BITCOINS BRASIL - ESTADOS
UNIDOS NO PERÍODO 2017-2018**

**CRICIÚMA/SC
2018**

ALEXANDRE FRANCISCO QUINGURI

**UM ESTUDO SOBRE A ARBITRAGEM DE BITCOINS BRASIL - ESTADOS
UNIDOS NO PERÍODO 2017-2018**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de bacharel em Ciências Econômicas, no curso de Ciências Econômicas da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Me. Amauri de Souza Porto Junior.

CRICIÚMA/SC

2018

ALEXANDRE FRANCISCO QUINGURI

**UM ESTUDO SOBRE A ARBITRAGEM DE BITCOINS BRASIL - ESTADOS
UNIDOS NO PERÍODO 2017-2018**

Criciúma, 27 de novembro de 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Amauri de Souza Porto Junior - Mestre - (UNESC) - Orientador

Prof. Ismael Cittadin - Mestre - (UNESC)

Prof. Thiago Rocha Fabris - Mestre - (UNESC)

DEDICATORIA

Dedico o presente trabalho a minha amada mãe, Dona Maria Fernanda Francisco, por nunca ter desistido de mim. Ao meu saudoso pai, Francisco José Quinguri, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e esperança que busco em seu nome. A minha amada mãe Maria Fernanda Francisco, que a amo incondicionalmente, por trabalhar duro para que a minha formação se tornasse um facto. Sou grato também aos meus irmãos, Messias Quinguri, Carlos Quinguri, Ambrósio Quinguri e Tereza Quinguri por todo apoio moral concedido, ao meu sobrinho Sebastian Quinguri pelo carinho e consideração que tem por mim e a minha querida namorada Amélia Felgas por sempre me apoiar. Aos demais familiares e amigos que sempre me deram força para continuar a lutar pelos meus sonhos e objetivos estendo os meus agradecimentos.

Agradeço infinitamente a Dona Regina, a Dona Eliane e aos demais feirantes da FES/UNESC, professores e todos que direta ou indiretamente ajudaram a Dona Regina, vendendo ou comprando rifas para me apoiar. Estendo os meus agradecimentos a Dona Lena e sua família por toda ajuda proveniente de sua casa, a Marlene Aguiar, que com muita paciência nos aturou enquanto locatários de seu residencial. A família Périco e demais irmãos em Cristo Jesus, meus sinceros agradecimentos.

Agradeço também aos meus professores que durante o curso foram uma fonte de conhecimento, aos meus colegas, sobretudo os angolanos que muito aprendi com eles. Aos meus amigos-irmãos “os Kalomboloka” que durante o tempo de formação fora de Angola foram e continuarão sendo uma família para mim, também sou grato a Universidade e a todos os funcionários que a compõem.

Agradeço ao professor Amauri Junior, por estar conosco durante os 4,5 anos de formação, como professor, coordenador e no final como meu orientador, pela dedicação e ideias construtivas que me ajudaram na conclusão desta monografia, a minha imensa gratidão. Gratifico especialmente aos professores Dimas de Oliveira e Janir Pain pela ajuda e carinho ao longo da formação, a professora Natália Gonçalves pelos laços de amizade que foram além da universidade. Por fim agradeço a todas as pessoas que de forma direta ou indireta fizeram parte do meu percurso acadêmico na UNESC.

“Nada é permanente, exceto a mudança.”

Heráclito

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo verificar a existência de arbitragem cambial das relações Bitcoin/Real e Bitcoin/Dólar. Para a realização da pesquisa foram coletados dados de negociações da criptomoeda Bitcoin de duas *exchanges* pertencentes ao grupo das maiores corretoras de criptomoedas em termos de volume de negociações e clientes cadastrados no Brasil e nos Estados Unidos respectivamente. A pesquisa caracterizou-se como quantitativa e explicativa, de delineamento experimental, para apoio a esta, foram explorados estudos empíricos envolvendo arbitragem cambial e revisadas uma ampla bibliografia relacionada à hipótese de eficiência de mercados e a criptomoeda Bitcoin. Para a análise econométrica dos dados, usou-se os testes de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), Vetor Auto-Regressivo (VAR), Defasagens VAR, Engle Granger (EG) e Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Face as diretrizes seguidas no trabalho de forma a responder o problema de pesquisa, concluiu-se que existem relações consistentes de arbitragem cambial entre Bitcoin/Real e Bitcoin/Dólar, com uma defasagem mínima de 16 minutos entre as séries observadas. Portanto, em função dos resultados alcançados e analisados, foi conclusivo admitirmos que a variação percentual do preço do Bitcoin no Brasil ocorre depois da variação percentual do preço do Bitcoin nos Estados Unidos da América (EUA), logo, preço do Bitcoin nos EUA causa o preço do Bitcoin no Brasil.

Palavras-chave: Arbitragem Cambial; Criptomoedas; Bitcoin; Mercados Eficientes.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução do preço do Bitcoin negociados no Brasil (BTC_BRL) e nos EUA (BTC_EUA) no período de 12/2017 a 02/2018.....	39
Gráfico 2: Evolução do preço do Bitcoin negociados no Brasil (BTC_BRL) e nos EUA (BTC_EUA) no período de 12/2017 a 02/2018 após aplicação da primeira diferença.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teste de Dickey-Fuller Aumentado.	38
Tabela 2: Seleção de defasamento VAR	41
Tabela 3: Correção de erros pelo método MQO	42
Tabela 4: Teste de Dickey-Fuller para BTC_BRL em nível	49
Tabela 5: Teste de Dickey-Fuller para BTC_BRL em 1ª diferença	49
Tabela 6: Teste de Dickey-Fuller para BTC_EUA em nível	49
Tabela 7: Teste de Dickey-Fuller para BTC_EUA em 1ª diferença	50
Tabela 8: Autorregressão vetorial VAR	50
Tabela 9: Defasamentos VAR	54
Tabela 10: Teste de Coitegração Granjer	55
Tabela 11: MQO, variável dependente BTC_EUA	57
Tabela 12: MQO, variável dependente BTC_BRL.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF	Dickey-Fuller Aumentado
AIC	Critério de Akaike
API	<i>Application Programming Interface</i>
BIC	Critério Bayesiano de Schwarz
BM&F	Bolsa de Mercadorias e Futuro
BOVESPA	Bolsa de Valores de São Paulo
BTC	Bitcoin
BTC BRL	Bitcoin Brasil
BTC EUA	Bitcoin Estados Unidos da América
COMEX	<i>Commodities Exchange</i>
CPI	<i>Consumer Price Index</i>
DOGE	Dogecoin
EG	Engle Granger
EGR	Elton, Gruber e Rentzler
ETH	Ethereum
EUA	Estados Unidos da América
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
HME	Hipótese de Mercados Eficientes
HQC	Critério de Hannan-Quinn
IDE	Investimentos Direto Externo
LSK	Lisk
LTC	Litceoin
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
PIB	Produto Interno Bruto
PPC	Poder de Paridade de Compra
PPI	<i>Producer Price Index</i>
TAP	Teoria da Arbitragem de Preços
VAR	Vetor Auto Regressivo
ZEC	Zcash

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo geral	12
1.2.2 Objetivos específicos	12
1.3 JUSTIFICATIVA	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 A CRIPTOMOEDA BITCOIN.....	14
2.2 CARACTERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN	16
2.4 A HIPÓTESE DE MERCADOS EFICIENTES (HME).....	18
2.3 TEORIA DA ARBITRAGEM DE PREÇOS (TAP)	21
2.3.1 Barreiras a arbitragem	24
2.6 ESTUDOS EMPÍRICOS DE MODELOS DE ARBITRAGEM DE PREÇOS.....	25
3 METODOLOGIA	31
3.1 NATUREZA E TIPO DE PESQUISA	31
3.2 PROCEDIMENTO E COLETA DE DADOS	32
3.3 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DOS DADOS.....	33
3.3.1 Vetor Auto-Regressivo (VAR)	35
3.3.2 Teste de cointegração de Engle Granger	36
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	38
4.1 ESTACIONARIEDADE DA SÉRIE	38
4.2 VAR E DEFASAMENTOS	41
4.3 TESTE DE COINTEGRAÇÃO GRANGER E CORREÇÃO DE ERROS PELO MQO.....	41
5 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45
ANEXOS	49

1 INTRODUÇÃO

Antes da invenção do Bitcoin por Satoshi Nakamoto (2008) transações online sempre requisitaram um terceiro intermediário de confiança. Para Ulriche (2014), em síntese, o Bitcoin é uma forma de dinheiro, assim como o Real, o Dólar ou o Euro, com a diferença de ser puramente digital e não ser emitido por nenhum governo. O seu valor é determinado livremente pelos indivíduos no mercado, não há uma autoridade central encarregada nem de criar unidades monetárias nem de verificar as transações. Essa rede depende dos usuários que proveem a força computacional para realizar os registros e as reconciliações das transações, se tornando no primeiro sistema de pagamentos global totalmente descentralizado. O nascimento de moedas virtuais tem sido crescido significativamente nos últimos anos, sendo o Bitcoin o ponto de partida deste fenômeno, com origem em 2009, e a de maior valor de mercado. A realização do presente trabalho se ocupará em mensurar os possíveis ganhos com arbitragem nas operações envolvendo o Bitcoin.

Conforme Nakamoto (2009), o custo de mediação aumenta o custo de transação, não existe um terceiro atuando como mediador nas operações envolvendo Bitcoin, portanto, não há limite mínimo de transação, havendo a possibilidade de pequenas movimentações casuais. A invenção do Bitcoin é revolucionária porque, pela primeira vez, o problema do gasto duplo pode ser resolvido sem a necessidade de um terceiro intermediador, Bitcoin o faz distribuindo um imprescindível registro histórico a todos os usuários do sistema via uma rede de computadores.

Atendendo a Teoria de Arbitragem de Preços, originalmente formulada por Ross (1976), a exploração de preços errados de títulos para obter lucros econômicos livres de risco é chamada de arbitragem. Conforme Bodie et al. (2000) a arbitragem envolve tipicamente a compra e venda simultânea de títulos equivalentes para poder lucrar com as discrepâncias nos seus relacionamentos de preços. O presente trabalho visa constatar a existência de arbitragem na compra e venda do Bitcoin em mercados diferentes, usando o Real (Brasil) e o Dólar (Norte Americano) como moedas para negociações, constatando dados históricos de duas *exchanges* de criptomoeda do Brasil e EUA respectivamente, nomeadamente Mercado Bitcoin e Gemini.

As *exchanges* são corretoras que comercializam criptomoedas, também conhecidas como moedas virtuais. Assim como a Ibovespa ou a Nasdaq operam ações de grandes empresas nacionais ou internacionais, as corretoras de

criptomoedas operam apenas moedas virtuais como Bitcoin (BTC), Litecoin (LTC), Dogecoin (DOGE), Lisk (LSK), Ethereum (ETH) entre outras. (BATISTACOIN, 2018).

Para Oliveira (2009) quando um mercado é mais desenvolvido que o outro, ele tende a desenvolver a liderança sobre os menos desenvolvidos, havendo uma defasagem de preços entre os dois mercados devido à maior eficiência com a qual o mercado desenvolvido incorpora uma nova informação ao preço do ativo negociado. Conforme Brealey et al. (2013) a hipótese da eficiência do mercado enfatiza o fato de a arbitragem eliminar rapidamente quaisquer oportunidades de lucro e fazer que os preços se estabilizem em valores justos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Fundamentado nestes pressupostos, tem-se como problema de pesquisa a seguinte pergunta: é possível identificar relações consistentes de arbitragem cambial entre Bitcoin/Real e Bitcoin/Dólar?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral ficará delineado da seguinte maneira: Analisar a possibilidade de ganhos de arbitragem na compra e venda do Bitcoin em mercados diferentes usando o Real (Brasil) e o Dólar (Norte Americano) como moedas para negociações através de um teste de causalidade para séries temporais utilizando a modelagem dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

1.2.2 Objetivos específicos

Com base no objetivo geral listaram-se os seguintes objetivos específicos: 1) Argumentação da criptomoeda Bitcoin, origem e funcionamento; 2) Conceituar a arbitragem como operação de negociação; 3) Conceituação da Hipótese do Mercados Eficientes (HME); 4) Exploração de trabalhos empíricos envolvendo a Teoria de Arbitragem de Preços (TAP); e 5) Apresentar os dados e resultados alcançados com a pesquisa.

1.3 JUSTIFICATIVA

A cada dia novos agentes econômicos buscam transacionar ou investir em Bitcoins em mercados diferentes. A observação da TAP exposta neste trabalho acaba sendo de extrema importância para a literatura econômica e áreas afins. Conforme Farhi (1999 pág. 107) “o impacto macroeconômico da arbitragem não pode ser subestimado, já que essas operações se transformaram num dos principais veículos de unificação internacional dos preços de ativos financeiros de mesma natureza”, de seu ajustamento temporal e de correia de transmissão dos impactos sofridos num mercado para os outros.

As razões que deram origem a escolha do presente tema são intelectuais e empíricas, pois muitas das inquietações ainda existentes no sistema monetário internacional são resolvidas pela argumentação teórica e funcionamento do Bitcoin, tratando-se de um assunto com uma crescente demanda de informação e um enorme potencial a ser estudado, o presente trabalho pode ser encarado como uma análise preliminar para estudos ou argumentações atuais e futuras a respeito da arbitragem cambial envolvendo criptomoedas e ativos da mesma natureza.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A CRIPTOMOEDA BITCOIN

Segundo Korteweg (1959) a existência da moeda não é algo que se possa presumir como natural. A própria moeda constitui resultado de longo processo de desenvolvimento econômico, cabendo, como primeira pergunta indagar como veio a ser introduzida. “A origem da moeda permanece um mistério e, de modo um tanto surpreendente, uma área de viva polêmica.” (CHICK, 2010, p.197). Entretanto, as moedas foram mais uma das engenhosidades da mente humana, surgiram de forma concomitante em regiões diversas, pela necessidade premente de estabelecer trocas de mercadorias. Civilizações se passaram, e o dinheiro acabou por ser um dos dínamos da organização das relações sociais. Ao longo da história, tornou-se motor de sistemas econômicos complexos, culminando numa sociedade globalizada.

Conforme Jozsef (1982, p. 1):

Isto significa que o dinheiro não é eterno. Apareceu num período determinado da história, quando sua intermediação foi necessária para o desenvolvimento da sociedade e, da mesma maneira, desaparecerá quando esta necessidade tiver perdido seu valor.

Segundo Lopes e Rossetti (2002), quando tratamos da moeda, evidenciamos que seu aparecimento decorreu da necessidade de superar obstáculos para o desenvolvimento do sistema de trocas em economias não primitivas nas quais a divisão do trabalho e a especialização individual para o exercício de funções produtivas passaram a intensificar o regime social de interdependência. A criação de sistemas monetários tornou-se um imperativo fundamental, sem o qual o regime mais avançado e mais eficiente de interdependência não poderia prosseguir nem se desenvolver. Com o advento da Internet, progresso da tecnologia e a integração dos sistemas monetários, as criptomoedas vêm ganhando espaço e confiança nos dias atuais.

Chicarino et al (2017), denota que o Bitcoin é um conjunto de conceitos e tecnologias que formam a base de um ecossistema de dinheiro digital. Seus usuários

se comunicam através da Internet utilizando uma rede *peer-to-peer*¹ própria, mas outras formas de rede também podem ser usadas. Sua implementação está disponível como software de código aberto, e pode ser executada em diversos tipos de dispositivos, o que torna a tecnologia de fácil acesso. Ulriche (2014) acrescenta que o seu valor é determinado livremente pelos indivíduos no mercado. Atendendo a mutação dos sistemas monetários e da moeda nas suas várias funções, no decorrer da história e dos arranjos monetários em que vivemos, em 2009 são comercializados os primeiros Bitcoins, o primeiro dinheiro digital escasso a existir, sendo programado para ter um total de 21 milhões de moedas.

Conforme Lopes e Rossetti (2005) as funções principais da moeda são: função de intermediária de trocas; função de medida de valor; função de reserva de valor; função liberatória; função de padrão de pagamentos diferidos; e função de instrumento de poder. Os autores acrescentam que com o desenrolar do tempo e o advento da globalização, novas formas de pagamento foram surgindo mediante o progredir da economia monetária e da tecnologia. Atualmente moedas virtuais ou Criptomoedas passam a ser usadas como reserva de valor ou meio de pagamento para transações nacionais e internacionais.

Segundo Ulriche (2014), na era digital as pessoas são constantemente surpreendidas por inovações e uma das mais recentes advindas do desenvolvimento dos sistemas computacionais é a moeda virtual cujo exemplar mais conhecido e popular vem a ser o Bitcoin. Criptomoeda é um tipo de moeda que utiliza a criptografia para garantir segurança total em transações financeiras na internet. Da mesma forma que a moeda tradicional possui números de série ou linhas ocultas em seu interior para evitar falsificações, a criptomoeda também utiliza códigos que são muito difíceis de serem quebrados. Moedas virtuais revolucionaram a forma de se realizarem transações econômicas, na medida em que, após o longo processo mundial de centralização bancária havida a partir do início do século XX vieram a ser a primeira forma de moeda descentralizada, sem uma autoridade monetária competente para controlá-la.

¹ Sistemas *Peer-to-Peer* ou *P2P* são sistemas distribuídos que consistem de nodos interconectados, com capacidade de se auto-organizarem em topologias de rede, com o objetivo de compartilhar recursos e armazenamento, mantém conectividade e performance aceitáveis, sem depender da intermediação ou suporte de uma autoridade (servidor) central. Fonseca (2008).

Até a invenção do Bitcoin em 2008, transações monetárias *online* sempre requisitaram um terceiro intermediário de confiança. Segundo Nakamoto (2009), o custo de mediação aumenta o custo de transação e não existe um terceiro atuando como mediador nas operações envolvendo Bitcoin, não havendo limites mínimos de transações para compra e venda da moeda virtual. A invenção do Bitcoin é revolucionária porque pela primeira vez o problema do gasto duplo pode ser resolvido sem a necessidade de um terceiro. Bitcoin o faz distribuindo o imprescindível registro histórico a todos os usuários do sistema via uma rede de computadores. Novas transações são verificadas contra o *Blockchain*, de modo a assegurar que os mesmos bitcoins não tenham sido previamente gastos, eliminando assim o problema do gasto duplo, a rede global *peer-to-peer*, composta por milhares de usuários torna-se o próprio intermediário. As transações na rede Bitcoin não são denominadas em dólares, euros ou reais, como em outros sistemas de transferência ou pagamento, em vez disso, são denominadas em bitcoins. Isso torna o sistema Bitcoin não apenas uma rede de pagamentos descentralizada, mas também uma moeda virtual por conter as características principais de uma moeda. O Bitcoin possui a função de intermediária de trocas; função de medida de valor; função de reserva de valor; função de padrão de pagamentos diferidos; e função de instrumento de poder.

Nakamoto (2009) acrescenta que o comércio na internet passou a depender quase exclusivamente de instituições financeiras ou terceiros para processar pagamentos eletrônicos. A maioria das transações ainda sofre das fraquezas inerentes do modelo baseado em confiança. O que é necessário é um sistema de pagamento eletrônico baseado em prova criptográfica em vez de confiança, permitindo que duas partes interessadas negociem diretamente entre si sem a necessidade de um terceiro.

2.2 CARATERIZAÇÃO DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

Segundo Isaac e Kakavandy (2018), o uso de notas e moedas está declinando na sociedade, ou seja, novas formas de pagamento como cartões de crédito e débito, aplicativos móveis e outros semelhantes vêm substituindo o papel moeda como meio de pagamento, principalmente em países desenvolvidos. Em paralelo, moedas virtuais e métodos alternativos de pagamento estão passando por renovação em termos de disponibilidade e acessibilidade em transações comerciais.

O rápido progresso tecnológico como uma forma integrada de manuseio permite que pagamentos sejam feitos através de um sistema que praticamente ninguém administra. Uma das mudanças tecnológicas mais interessantes em nossa sociedade é o chamado *Blockchain*, também conhecido como o “protocolo da confiança”.

Conforme Chicarino et al. (2017 apud Nakamoto 2009) a introdução do *Blockchain* se deu como mecanismo para garantir irretratabilidade e imutabilidade a fim de prover segurança nas transações eletrônicas, servindo como um grande livro razão distribuído. De maneira simplificada, o *Blockchain* é uma estrutura de dados que armazena transações de forma ordenada e ligada ao bloco anterior, servindo como um sistema de registros distribuído. Essa estrutura é dividida em duas partes: 1) Cabeçalho e 2) Transações, que armazena informações detalhadas a respeito das transferências que contém, assim é possível associar uma transferência ao seu endereço de origem e destino. No Bitcoin uma transação é uma transferência de valores, ou seja, é um conjunto de entradas, - endereços de onde os valores serão retirados -, e saídas, - endereços para onde os valores serão enviados. Um nó após criar uma transação a envia a todos os seus vizinhos. Os nós que receberam a transação retransmitem aos seus vizinhos para que a transação alcance todos os nós da rede. Quando um minerador recebe a transação, ele irá guardá-la para que ela seja incluída em um próximo bloco que será minerado.

Isaac et al. (2018) acrescenta que um *Blockchain* é uma cadeia de blocos, podendo ser descrita como uma distribuição razão que todos podem ler. A tecnologia permite que nenhuma autoridade central seja necessária, cada bloco no *Blockchain* contém o *hash* do bloco anterior, que é a razão pelo qual o *Blockchain* é seguro. Nos blocos os dados são armazenados bem como seu registro de data e hora. Juntos, eles criam uma corrente em todo o caminho desde o primeiro bloco, que é chamado o bloco Gênesis. O protocolo por trás do Bitcoin é *peer-to-peer*, o que significa que o mesmo é um aplicativo distribuído.

Conforme Chicarino et al. (2017, p. 12):

Hash são funções matemáticas que geram um resumo, uma espécie de impressão digital dos dados de entrada. Quando aplicadas a um determinado conjunto de dados ela irá gerar como saída um valor, que a princípio, é único. Um dos usos mais frequentes para o *hash* é verificar a integridade de arquivos.

De acordo com Zhabiak (2017), o *Blockchain* fornece um imutável registro de transações realizadas em uma rede sem a necessidade ou dependência de um intermediário, como o Banco Central. Ele fornece registro intocável de todas as transações com criptomoeda protegida no mais alto nível de segurança criptográfica, é um conceito que reúne economia e digitalização de uma maneira nunca antes vista, tornando-se um dos temas mais debatidos atualmente.

2.4 A HIPOTESE DE MERCADOS EFICIENTES (HME).

Segundo Junior et al. (2004) a HME tem se mostrado uma das mais influentes teorias no campo das finanças, sendo base para inúmeros modelos de precificação de ativos, com aplicações que vão desde modelos tradicionais utilizados em finanças corporativas até avançadas teorias utilizadas na identificação do preço justo de derivativos financeiros.

Conforme Brealey et al. (2013) a HME enfatiza que a arbitragem elimina rapidamente qualquer oportunidade de lucro e faz com que os preços se estabilizem em valores justos. Os especialistas em finanças comportamentais argumentam que a arbitragem é dispendiosa e por vezes lenta, de modo que os desvios dos preços justos² podem persistir. O autor acrescenta que em um mercado eficiente, se há algum desvio de preço, a arbitragem força-os de volta aos valores razoáveis. O arbitrador compra os títulos subvalorizados, forçando seus preços para cima, e vende os títulos supervalorizados, forçando seus preços para baixo. Esse profissional obtém um lucro por comprar na baixa e vender na alta, e por esperar que os preços convirjam até seus valores razoáveis.

Segundo Milanez (2003), a HME pressupõe que haja: 1) competição perfeita: um suficiente número de participantes, o que implica que nenhuma ação individual pode afetar significativamente os preços; 2) expectativas homogêneas e racionalidade: os *traders* são totalmente informados têm acesso igualitário aos mercados e agem racionalmente; e 3) ausência de fricções: os ativos ou *commodities* são homogêneos, divisíveis e não há custos transacionais.

² É um conceito moral e não econômico, preço justo é aquele livremente ajustado entre compradores e vendedores, locadores e locatários, mutuantes e mutuários em qualquer transação. (HALL et al. 2003).

“Não há motivos para esperar que a hipótese de mercados eficientes seja perfeitamente válida; ela é bem mais compreendida como uma aproximação idealizada para mercados altamente competitivos”. (BERK et al. 2009, pág. 299).

Neto (2012) salienta ainda que, em finanças, um mercado é entendido como eficiente quando todas as novas informações recebidas promovem imediata repercussão sobre o preço dos ativos, ou seja, um mercado eficiente é aquele em que os preços dos ativos são reflexos das informações disponíveis. O pressuposto da eficiência é que os investidores racionais de mercado consideram todas as informações disponíveis em suas decisões, incorporando-as no valor dos ativos. Assim, quanto maior for a disseminação das informações mais eficientes tendem a ser os mercados.

É importante acrescentar que o conceito de eficiência de mercado não implica a permanente presença de preços perfeitos dos diversos ativos transacionados (preços exatamente iguais a seus valores reais). A exigência básica desses mercados é de que os preços não sejam tendenciosos, ou seja, formados de acordo com alguma intenção e interesses individuais. (NETO 2012, p. 88).

Conforme Junior et al. (2004), a base teórica para a HME repousa em três argumentos: 1) Investidores são assumidos como racionais e, conseqüentemente, avaliam e precificam ativos de forma racional; 2) A medida que alguns investidores não são racionais, suas participações no mercado (negociações) são assumidas como aleatórias, cancelando-se e não produzindo efeitos nos preços praticados pelo mercado; 3) A medida que esses investidores irracionais são similares entre si, a presença de uma maioria de arbitadores racionais no mesmo mercado elimina sua influência nos preços. O autor acrescenta que, a eficiência do mercado pode ser classificada em fraca, semiforte e forte: 1) Forma fraca: um mercado obedece à forma fraca de eficiência quando incorpora, integralmente, a informação contida em preços passados. Nesse caso, o mercado é denominado eficiente em termos fracos. Pode-se representar a forma fraca de eficiência, matematicamente, como:

$$P_t = P_{t-1} + \text{Retorno Esperado} + \varepsilon_t, \quad (\text{eq.1})$$

Em que o preço de hoje P_t é função do último preço observado P_{t-1} , acrescido ao retorno esperado do título e de um componente aleatório ε_t ao longo do

período. A HME em sua forma fraca parte do pressuposto de que os preços dos ativos são formados considerando todas as informações passadas. Ao se basearem no passado, os retornos esperados são formados em equilíbrio, não se prevendo ganhos acima do retorno esperado; 2) Forma semiforte: Um mercado é eficiente no sentido semiforte quando os preços de seus títulos refletem toda a informação publicamente disponível, incluindo informações obtidas através de demonstrações contábeis publicadas e informações históricas, pode-se representar a forma semiforte de eficiência, matematicamente, como:

$$P_t = P_{t-1} + I_{pd} + \text{Retorno Esperado} + \varepsilon_t, \quad (\text{eq.2})$$

Em que o preço de hoje P_t é função do último preço observado P_{t-1} , acrescido ao retorno esperado do título, I_{pd} que representa todas informações publicamente disponíveis e de um componente aleatório ε_t ao longo do período. A diferença entre a eficiência semiforte e a eficiência fraca é que a primeira exige não somente que o mercado seja eficiente em relação aos preços passados, mas que toda a informação publicamente disponível esteja refletida nos preços; e 3) Forma forte: um mercado é eficiente no sentido forte quando engloba, além das informações publicamente disponíveis e das históricas de preços, as não disponíveis. Engloba, portanto, todas as informações sobre um ativo, pode-se representar a forma forte de eficiência, matematicamente, como:

$$P_t = P_{t-1} + I_{pd} + I_{nd} + \text{Retorno Esperado} + \varepsilon_t, \quad (\text{eq.3})$$

Em que o preço de hoje P_t é função do último preço observado P_{t-1} , acrescido ao retorno esperado do título, I_{pd} e I_{nd} que representam todas informações publicamente disponíveis e não disponíveis respectivamente. ε_t representa um componente aleatório ao longo do período. A mais restritiva das hipóteses torna improvável, portanto, a obtenção de lucros extraordinários de qualquer forma. Qualquer informação pertinente a uma ação, desde que conhecida por ao menos um investidor, estará incorporada inteiramente ao preço dessa ação.

2.3 TEORIA DA ARBITRAGEM DE PREÇOS (TAP)

A arbitragem pode ser considerada um dos mais plausíveis e intuitivos argumentos da economia. Trata-se da compra e venda simultâneas do mesmo título, ou de um essencialmente similar, em dois diferentes mercados, por preços diferentes, de forma a se obter uma vantagem na operação. (JUNIOR e IKEDA 2004).

A TAP foi originalmente formulada por Ross (1976). Afirmando ser a exploração de preços errados de títulos para obter lucros econômicos livres de risco, ou seja, a má precificação de determinado ativo faz com que o preço deste esteja abaixo ou acima do preço praticado no mercado, o que abre oportunidade para operações de arbitragem. Envolve tipicamente a compra e venda simultânea de títulos equivalentes para poder lucrar com as discrepâncias nos seus relacionamentos de preços. (KANE et al. 2000).

Segundo Neto (2014) a arbitragem consiste em vender, de forma simultânea, bens equivalentes em diferentes mercados, visando obter algum ganho através de diferentes preços. Os lucros do arbitrador são livres de risco e determinados pelo desequilíbrio momentâneo nos preços dos ativos. Ao aproveitar-se de um diferencial favorável de preço, o investidor pode auferir um retorno sem risco se adquirir o ativo no mercado em que sua cotação é mais baixa, e vender em outro mercado por um preço superior.

Conforme Farhi et al. (1999) a arbitragem adquiriu um peso extremamente importante nos mercados de ativos financeiros e seus derivativos. É muito mais fácil realizar este tipo de operações com ativos financeiros do que com *commodities* já que o acesso ao mercado à vista é geralmente amplo, os preços nele praticados são transparentes e o custo de “estocagem” limita-se à taxa de juros praticada no mercado monetário para o período e às taxas de custódia cobradas pelas instituições financeiras credenciadas.

Sob o mesmo ponto de vista, Farhi et al. (1999, p. 107):

O impacto macroeconômico da arbitragem não pode ser subestimado, já que essas operações se transformaram num dos principais veículos de unificação internacional dos preços de ativos financeiros de mesma natureza, de seu ajustamento temporal e de correia de transmissão dos impactos sofridos num mercado para os outros.

Conforme Fortuna (2014) a arbitragem pode ser caracterizada em cinco pontos: 1) Arbitragem Externa, que consiste na remessa de divisas de uma praça para outra, buscando obter vantagens em função das diferenças de preços existentes. É representada pela venda de uma moeda estrangeira contra o recebimento de outra moeda também estrangeira; 2) Arbitragem Direta, é a transação efetuada por dois operadores localizados em praças de países diferentes, que arbitram suas respectivas moedas; 3) Arbitragem Indireta, é a transação realizada por um operador que, atuando em sua base, efetua operações envolvendo as moedas nacionais de duas praças estrangeiras, quer arbitrando as duas moedas ou mais de duas; 4) Arbitragem Interna - Operações Simbólicas, as operações simbólicas de compra e venda simultâneas de câmbio têm por finalidade regularizar exigências de ordem cambial, não figurando, portanto, entre as transações normais que se caracterizam pela entrega efetiva da moeda ocorrem nas seguintes situações: a) conversão de crédito em investimento; b) constituição e liberação de depósitos, no Banco Central; c) regularização de fraude cambial. Essas operações não provocam movimentação nas contas em moedas estrangeiras mantidas no exterior pelo Banco Central. 5) Arbitragem Interna - Operações nos Mercado a Vista e Futuro, em geral os bancos fazem operações de arbitragem, comprando/vendendo dólares no mercado futuro e comprando/vendendo no mercado à vista. O autor acrescenta que os bancos fazem esse tipo de operação de arbitragem normalmente quando os juros no mercado interbancário internacional são mais altos do que o chamado cupom cambial. O cupom cambial costuma cair quando há investidores estrangeiros vendendo dólares no mercado futuro, ou quando a procura no mercado a vista for grande.

Igualmente, Bodie et al. (2000), argumentam que uma oportunidade de arbitragem surge quando um investidor consegue construir uma carteira com zero de investimento que irá render um lucro seguro. Zero de investimento significa que os investidores não precisam usar nenhum dinheiro próprio. Para construir uma carteira com zero de investimento, o agente econômico tem de ser capaz de vender a descoberto pelo menos um ativo e usar o dinheiro para comprar um ou mais ativos. Até mesmo um pequeno investidor, usando dinheiro emprestado desta maneira, pode tomar uma grande posição em tal carteira.

Como exposto por Mello et al. (2016), o que ocorre no processo de arbitragem é a possibilidade de um retorno para um risco não existente, já que o ativo sendo negociado é o mesmo. Para Bodie e Merton (1999) na teoria da seleção de

carteiras, o ativo sem risco é definido como um título que oferece uma taxa de retorno perfeitamente previsível em termos de unidade de conta selecionada para análise e a duração do horizonte de decisão do investidor. Quando nenhum investidor específico é identificado, o ativo sem risco refere-se a um ativo que oferece uma taxa de retorno previsível ao longo da duração do horizonte de transação, isto é, o horizonte de decisão mais curto possível.

Para Oliveira (2009), quando um mercado é mais desenvolvido que outro, este tende a desenvolver a liderança sobre aqueles, havendo uma defasagem de preços entre os dois mercados devido à maior eficiência com a qual o mercado desenvolvido incorpora uma nova informação ao preço do ativo negociado, - assimetria informacional existente entre mercados, causadas por um possível custo de informação muito alto. Sempre que ocorre uma oportunidade de arbitragem, os investidores procuram tirar proveito dela, mas a sua função vai além disso, pois, a mesma acaba sendo de extrema importância para a eficiência dos mercados. Similarmente Neto (2014), argumenta que ao perceber a diferença de preços de um ativo (ou similares), arbitradores vendem determinado ativo e simultaneamente compram outro similar para proteger seu risco; poderiam comprar até a mesma ação negociada em outro mercado, portanto, a arbitragem é realizada até que os preços de equilíbrio sejam restabelecidos, - com o tempo, a oportunidade de ganhos pela arbitragem vai desaparecendo, até gerar a situação de equilíbrio.

De acordo com Farhi, Maryse et al. (1999) o próprio sucesso desse tipo de operação faz com que as distorções de preços que permitem sua realização sejam cada vez mais raras e de menor magnitude, principalmente no que concerne à estrutura temporal ou espacial de preços, diminuindo as possibilidades de lucro. Para poder continuar a realizar operações de arbitragem, as instituições são levadas a procurar correlações diversas e esperar que menos concorrentes venham a arbitrar.

Conforme Rabelo Jr. e Ikeda (2004), com o aumento da demanda pela compra de determinado ativo em um mercado e com o aumento da oferta de venda em outro, a tendência é que a diferença entre os preços seja corrigida e o preço passe a representar o risco real do ativo. Os autores acrescentam que, mesmo no caso de existir correlação entre suas negociações, há um fator que gera equilíbrio e torna o mercado eficiente: a arbitragem. Oportunidades de arbitragem não duram muito tempo, os grandes lucros obtidos pelos árbitros vão atrair a atenção para a discrepância de preços. Outros árbitros vão competir para obter os mesmos lucros de

arbitragem e, como resultado, os preços das ações nas duas praças distintas serão corrigidos. (NETO 2014).

Conforme Bodie e Merton (1999) a arbitragem assegura que, para pelo menos três moedas livremente conversíveis em mercados competitivos, é suficiente conhecer a taxa de câmbio entre quaisquer duas a fim de determinar a terceira. Assim, conforme se mostrou, se determinado agente econômico sabe que o preço do iene em relação ao dólar americano é de ¥100 e que o preço do iene em relação à libra esterlina é de ¥200, entende-se que pela lei do preço único, que o preço do dólar em relação a libra é de \$2. A esse tipo de transação chama-se arbitragem triangular, porque envolve três ativos.

2.3.1 Barreiras a arbitragem

Conforme Cavusgil et al. (2010) o desenvolvimento da tecnologia leva à eficiência informacional, proporcionando a rápida disseminação de toda informação disponível. Somente operadores mais instruídos, no entanto, conseguem auferir lucro ao negociarem grandes quantidades face uma oportunidade de arbitragem. Os autores argumentam que empresas desenvolvidas, caracterizadas por um genuíno interesse a realização de interesses internacionais, visam diversos mercados estrangeiros por meio de diversas modalidades de entrada, sobretudo o Investimento Direto Externo (IDE).

Para Camargo et al. (2003) o aumento do número de empresas com listagem transfronteiriça de títulos leva a maior integração dos mercados envolvidos, fazendo com que estes caminhem em direção à eficiência informacional, minimizando as operações de arbitragem. Sob o mesmo ponto de vista Mello et al. (2016, p. 114) enfatizam que, “embora a globalização e o desenvolvimento da tecnologia permitam a rápida disseminação da informação, a arbitragem pode continuar acontecendo”. Isso reduz as possibilidades de arbitragem, que, por sua vez, não deixam de existir.

O princípio mais básico da teoria do mercado de capital é que o equilíbrio dos preços de mercado deveria excluir as oportunidades de arbitragem. Se os preços reais de títulos permitem a arbitragem, as oportunidades para a comercialização lucrativa que resultam levarão a fortes pressões sobre os preços dos títulos as quais persistiram até que o equilíbrio seja restaurado. (BODIE, KANE e MARUS 2000).

Concernente aos custos, Palaia e Holland (2010) argumentam que a existência de bens *non tradables*³ na composição dos índices de preços e a presença de custos de transação impedem que os preços dos bens de dois países, quando expressos na mesma moeda, sejam iguais. Os bens *non tradables* não são comercializados no mercado internacional, o que impede a arbitragem de tornar o preço desses bens quando expressos na mesma moeda igual em dois países. Os custos de transação, como impostos ou custos de transporte, aumentam o valor de um bem em relação ao seu preço no país em que foi produzido. Portanto, o preço de um mesmo bem, quando comparado na mesma moeda em dois países, pode ser diferente devido à existência desse tipo de custo.

“Na prática, a arbitragem é mais difícil do que parece. Os custos de transação podem ser significativos e algumas transações são de difícil execução”. (BREALEY, MYERS e ALLEN 2013, p. 299).

2.6 ESTUDOS EMPÍRICOS DE MODELOS DE ARBITRAGEM DE PREÇOS

Segundo Nunes e Maya (2007) a relação entre a taxa de juros e a taxa de câmbio sempre foram um dos temas mais investigados na literatura empírica de macroeconomia e finanças. Os autores objetivam verificar se a condição paridade de juros se mantém para o Brasil e se existe livre mobilidade de capital. Um agente, ao investir em um país, calcula qual será seu retorno no período seguinte quando este investe, por exemplo, R\$ 1,00 em títulos estrangeiros e converte o real em moeda estrangeira. Logo, admitindo o título americano, um real irá comprar $1/E$ dólar no período corrente. Sendo E taxa de câmbio medida como real por dólar americano e i^* a taxa de juros americana, onde o investimento de $1/E$ dólares no título estrangeiro vai render $(1/E)(1 + i^*)$ dólares no período seguinte e a uma taxa de câmbio do período seguinte, $E + 1$ o agente, possuidor de o título, terá que converter novamente em real. Sendo assim, o retorno sobre R\$ 1,00 investido em títulos americanos expressos na moeda brasileira é dado pela seguinte expressão:

³ *Non tradables* são produtos vinculados a um local, como a construção de uma casa, de uma ponte ou um serviço de locomoção pública. Normalmente estes serviços são prestados onde os clientes estão, não estando sujeitos à concorrência externa. Mas a tecnologia da informação vem mudando essa conceituação. Um serviço pode ser prestado, independente da distância. Paulani et al. (2012).

$$(E + 1/E)(1 + i^*) \quad (\text{eq.4})$$

Sendo assim, Nunes e Maya (2007) definem a arbitragem de juros quando a taxa de juros interna deve ser igual à externa mais a taxa esperada de depreciação da taxa cambial. Sendo S ser o valor da taxa de Câmbio no período t ; e $F_{t,t+k}$ o valor futuro de S para um contrato a vencer em k período, então:

$$(F_{t,t+k})/S_t = (1 + i)tk / (1 + i^*)tk \quad (\text{eq.5})$$

Aplicando-se o modelo logaritmo tem-se a condição de a arbitragem livre de risco, e é dado por: $f_{t,t+k} - S_t = (i + i^*)tk$. Admitindo a hipótese de que os agentes são avessos ao risco tem-se o seguinte: $P_{t,t+k} = f_{t,t+k} - S_{t+k}$. Onde, P representa o prêmio de risco associado à manutenção de ativos estrangeiros.

A intuição deste modelo nos diz que se a economia não apresenta impedimentos ao fluxo de capitais, as taxas de juros doméstica e externa devem ser altamente correlacionadas. Assim, a política econômica deve sugerir a não fixação da taxa de juros e da taxa de câmbio ao mesmo tempo, pois a taxa de juros internacional é completamente exógena. Assim, o modelo econométrico adotado pelos autores para efetuar o teste da condição paridade de juros da equação teórica, segue o proposto por Khor e Rojas-Suarez (1991) e pode ser visualizado através da seguinte equação:

$$(1 + i_t) = \alpha + \beta(1 + i^*) \cdot E\left(\frac{e_{t+1}}{e_t}\right) + \varepsilon_t. \quad (\text{eq.6})$$

Sendo, E o operador de esperança matemática (representa a expectativa de desvalorização/valorização cambial), α é uma constante que capta a possibilidade da existência de diferenciais de juros (capta uma medida de risco). Para a estimação da Condição de Paridade de Juros utilizaram-se duas *proxys* que representaram o comportamento das taxas de juros doméstica e internacional. A obtenção dos dados referiu-se ao período entre janeiro de 1995 a dezembro de 2004. Os autores optaram pelas séries Over-Selic como a taxa de juros doméstica e a T-Bill três meses como a taxa de juros internacional (indexador dos títulos do governo americano). A investigação empírica permitiu verificar que o ingresso de capitais para o Brasil apresentou uma significativa mudança de comportamento pós-Plano Real e uma

queda considerável a partir dos anos 2000. Com base nos dados apresentados pelos autores, conclui-se a não constatação da condição paridade e com isso a possibilidade de juros e com isso a possibilidade de ocorrência de arbitragem para período de 1994 até 2004. A conclusão foi de que todas as estimações sugeriram os betas calculados muito baixos e muito distantes da unidade, consideraram que a taxa de juros brasileira foi determinada exclusivamente por fatores internos e não apresenta nenhuma relação com a taxa de juros internacional. (NUNES E MAYA 2007).

Analisando a taxa de câmbio e a paridade do poder de compra (PPC) no Brasil, Palaya e Holland (2010) se propõem a testar o poder de paridade de compra em sua forma absoluta para o caso do Brasil. Analisando a PPC absoluta e assumindo que não existem custos de transação e que os bens são homogêneos, matematicamente temos:

$$P_{l,t} = E_i P^{*i,t}, \quad (\text{eq.7})$$

Sendo E_i a taxa de câmbio nominal, $P^{*i,t}$ o preço do bem i no tempo t na moeda do outro país, e $P_{i,t}$ o preço do bem i na moeda nacional no tempo t .

Tal versão se baseia na noção de que existe arbitragem em todos os serviços e bens *tradables*⁴. A maioria dos índices de preços inclui uma determinada proporção de bens *non tradables* que pode levar à rejeição da PPC. Formalmente, agregando todos os bens *tradables* em um determinado país, a versão absoluta da PPC para ser válida requer que:

$$\sum \alpha_i P_{i,t} = E_t \sum \alpha^* P^{*i,t}, \quad (\text{eq.8})$$

Onde α_i é o peso do bem i no índice de preço e supõem-se que $\alpha = \alpha^*$, ou seja, preferência similar para os consumidores domésticos e do país estrangeiro. Implicitamente, a equação acima assume que os pesos de cada bem nos índices de preços devem ser iguais entre os países, o que é muito difícil de constatar-se na prática.

⁴ Produtos chamados de '*tradable*' são aqueles que sofrem concorrência externa. Trigo, soja, milho, commodities em geral, bens duráveis, vestuário, etc. todos esses, que têm produção doméstica, mas que também podem ser importados. Badin (2003).

A PPC em sua versão absoluta frequentemente torna-se inválida se existem restrições ao comércio internacional como tarifas, custos de transporte ou até mesmo a existência de informação imperfeita a respeito dos preços de cada bem em cada país. Um primeiro passo para se testar a versão absoluta da PPC pode ser feito através da existência de uma relação de longo prazo dada pela seguinte equação:

$$e_t = \beta_0 + \beta_1 P_t + \beta_2 P_t^* + \mu t \quad (\text{eq.9})$$

Onde e_t , P_t , e P_t^* são logaritmo de E_t (taxa de câmbio nominal), de $P_{i,t}$ (preço do bem i na moeda nacional no tempo t), e de $P_{i,t}^*$ (preço do bem i no tempo t na moeda do outro país), respectivamente, e μt é um termo de erro que representa o desvio da taxa de câmbio de seu nível de paridade de poder de compra. Para os modelos estimados os autores utilizaram dados trimestrais desde o primeiro trimestre de 1980 até o quarto trimestre de 2006. Os índices de preços externos utilizados foram o *Producer Price Index* (PPI) e o *Consumer Price Index* (CPI) dos Estados Unidos. Os índices de preços domésticos foram o Índice de Preço ao Consumidor da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE) e o Índice de Preço ao Atacado – Disponibilidade Interna da Fundação Getúlio Vargas (FGV). Os autores procuraram introduzir na análise dos testes de raiz unitária a possível presença de quebras estruturais nas variáveis de câmbio real. A conclusão foi de que não foi possível aceitar a validade da paridade de poder de compra absoluta entre 1980 e 2006, verificando-se assim a possibilidade de ocorrência de arbitragem. (PALAYA e HOLLAND 2010).

Desta feita, continuando a abordagem sobre arbitragem de preços, Melo et al. (2016), com o objetivo de analisar a relação entre os preços interno e externo do ouro, respectivamente cotado na BM&FBovespa e na bolsa de mercadorias de Nova York, COMEX, a fim de constatar a possibilidade de arbitragem na negociação deste ativo, testam a possibilidade da arbitragem de ouro nos mercados acima citados. Os autores fazem a regressão da diferença entre os retornos do ativo ouro nas bolsas analisadas para que se possa acompanhar o comportamento das cotações internacional e nacional ao longo do tempo.

$$R_{US-BRU,t} = \alpha + \phi R_{US-BRRS,t-1} + \sum_{i=-1}^0 \beta i^{US} R_{M,t+i}^{US} + \sum_{i=-1}^0 \beta i^{BR} R_{M,t+i}^{BR} + \sum_{i=-1}^0 \beta i^{FX} R_{t+i}^{FX} + \varepsilon_{US-BR,t} \quad (\text{eq.10})$$

Em que, $R_{US-BRU,t}$ é a diferença entre o retorno do ouro cotado no mercado internacional e o retorno do ouro cotado no mercado nacional (já convertido para dólares). $R_{US-BRRS,t-1}$ é a diferença entre o retorno do ouro cotado no mercado internacional e o retorno do ouro cotado no mercado nacional (já convertido para dólares) defasada em 1 período; $R_{M,t+i}^{US}$ é a variação diária do índice Dow Jones; $R_{M,t+i}^{BR}$ é variação diária do índice Ibovespa; R_{t+i}^{FX} é a variação diária da taxa de câmbio; $\varepsilon_{US-BR,t}$ é o termo de erro, *i. i. d* com média 0 e variância σ^2 .

A partir dos resultados do estudo empírico, Melo et al. (2016) concluíram que há possibilidade de arbitragem durante certo espaço de tempo, no caso desse estudo, maior que um dia. As principais causas dos desvios das cotações nacional e internacional foram flutuações na taxa de câmbio e choques no mercado nacional. De modo geral, os resultados encontrados pelos autores indicam que os mercados do ouro nacional e internacional não estão totalmente integrados, mesmo quando são considerados os custos de transação.

Investigando a adequabilidade de um modelo de arbitragem de preços sob incertezas inflacionárias para o mercado brasileiro Tannuri, et al. (1994), pautados no uso do modelo tipo TAP de Elton, Gruber e Rentzler (EGR), que se propõe a explicar o comportamento do retorno de ativos financeiros sob incertezas inflacionárias abordam o mercado acionário de São Paulo no período de 1976 a 1985. Diferente da estrutura clássica de um modelo TAP, o modelo EGR admite *a priori* que o retorno dos ativos é linear em dois fatores: a inflação e um índice de mercado. Obter uma representação TAP dependente de fatores económicos diretamente observáveis. Especificação do modelo usado pelos autores:

$$r_i = \beta_0 + \beta_1 r_{irm} + \beta_2 \pi + \varepsilon_i \quad (\text{eq.11})$$

Onde r_i : retorno esperado do ativo, r_{irm} : retorno real de um portfólio (funciona como um índice de mercado), π : taxa de inflação e ε_i : a representação de erros estocásticos que variam independentemente de ativo para ativo.

Concluiu-se que o modelo EGR, ajustado as séries históricas (1976-1985) dos retornos nominais dos principais ativos da Bolsa de Valores de São Paulo é significativo para mensurar o ajuste de preços sobre incertezas inflacionárias embora tenha um poder de previsão baixo. (TANNURI et al. 1994).

3 METODOLOGIA

3.1 NATUREZA E TIPO DE PESQUISA

O método é o caminho a ser percorrido, demarcado, do começo ao fim, por fases ou etapas, e como a pesquisa tem por objetivo um problema a ser resolvido, o método serve de guia para o estudo sistemático e enunciado, compreensão e busca de solução do referido problema. (RUDIO 2007 pág. 17).

Conforme Santos (2002) atendendo a natureza de um trabalho de pesquisa, a construção do conhecimento pode ser feita mediante pesquisas exploratórias descritivas ou explicativas. Com o objetivo de relacionar teoria e prática de forma a se chegar determinada conclusão, a pesquisa utilizada na construção do raciocínio do presente trabalho será a explicativa, com delineamento experimental, analisando dados históricos por meio da leitura de ampla bibliografia, levantando dados e informações estritamente ligados ao tema. Quanto ao método a pesquisa configura-se como quantitativa.

A opção feita pelo método explicativo foi feita atendendo a configuração e natureza do problema de pesquisa, além de recente e pouco explorado, a temática demanda uma maior compreensão e investigação do tema. Tendo este ponto como premissa, justifica-se a utilização da pesquisa explicativa, sendo esta, de natureza capaz de explicar a indagação proposta como problema de pesquisa. Conforme Marconi (2007) na pesquisa prática ou experimental realizam-se testes práticos de ideias e proposições discutidas na teoria, implicando na simulação de um ambiente laboratorial para verificação de teorias, ou seja, é a pesquisa que se faz através do teste prático de possíveis ideias ou posições teóricas.

Objetivando alcançar o melhor resultado possível, como suporte a pesquisa explicativa foi utilizada a pesquisa bibliográfica, que conforme Gil (2002) é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Ao sondar a bibliografia selecionada, foi implementada uma análise qualitativa dos dados e informações com maior afeição ao tema.

3.2 PROCEDIMENTO E COLETA DE DADOS

Com base no presente estudo, os dados se classificam como secundários, para responder ao problema de pesquisa foram coletados e analisados os preços de negociações do bitcoin por minuto de duas exchanges, no período de 12/2017 a 02/2018, do Brasil e EUA respectivamente. Nomeadamente Mercado Bitcoin e Gemini.

Tanto o Mercado Bitcoin quanto a Gemini se enquadram no grupo das maiores exchanges do Brasil e Estados Unidos respectivamente, considerando o volume de negociações e clientes cadastrados.

Mercado Bitcoin, maior corretora de compra e venda de criptomoedas do Brasil tem mais de um milhão de clientes no país, no final de 2017 a empresa chegou a travar cadastros de novos usuários devido à grande popularidade que o Bitcoin teve. A empresa espera ter 2,5 milhões de clientes até o final de 2018. Em julho a empresa movimentou 3.280 BTC, o equivalente a 91 milhões de reais. (LIVECOINS 2018).

A Gemini é uma bolsa de criptomoedas sediada em Nova York. Em julho a empresa movimentou 7.260 Bitcoins, o equivalente a 217 milhões de dólares. (CRYPTOCOINCHARTS 2018). Aberta aos residentes dos Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Hong Kong, Japão, Cingapura e Coreia do Sul. Diferente do mercado Bitcoin, não é a maior dos EUA, mas integra o grupo das maiores, tendo como concorrentes principais a Binance, Kraken, Coinbase e Bitstamp. Em 2016 se tornou a primeira troca de ETH licenciada do mundo, e em maio de 2018 de ZEC. (BITPREMIER 2018).

Além de terem uma grande participação no mercado de criptomoedas de ambos países, foram as únicas capazes de fornecer dados com maior precisão (negociação por minuto) para uma análise mais apurada e confiável.

Coletaram-se todos os dados de negociações praticadas nas duas *exchanges*, resultando numa base de dados com mais de um milhão e seiscentas mil observações para ambas corretoras⁵, destes, calculou-se a média de negociação por minuto através do *software* Excel resultando num total de mais de duzentas e cinquenta mil observações para ambos mercados que posteriormente foram manipulados e analisados no *software* Gretl.

⁵ Os termos *exchange*, corretora e mercado são usados como sinônimos.

Face as dificuldades encontradas para se conseguir dados (negociação por minuto) para a realização da presente pesquisa, o recorte temporal ficou delimitado entre 12/2017 a 02/2018. Atendendo a crescente subida do preço do Bitcoin, atingindo o maior valor desde seu surgimento em 12/2017 e sua maior queda nos meses posteriores, achou-se neste, um período ideal para a realização da pesquisa.

3.3 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados, a pesquisa visou a observação de processos estocásticos não estacionários que conforme Gujarati e Porter (2011) é aquela em que a média e a variância não são constantes ao longo do tempo. O modelo clássico é o modelo de passeio aleatório⁶ que pode ser: 1) com deslocamento, com um termo constante presente e 2) sem deslocamento, sem termo constante ou intercepto. Suponha que, u_t seja um termo de erro de ruído branco com média zero e variância σ^2 . Diz-se então que a série Y_t é um processo estocástico não estacionário se:

$$Y_t = Y_{t-1} + u_t, \quad (\text{eq.12})$$

Sendo o valor Y no tempo t igual ao seu valor no tempo $(t - 1)$ mais um choque aleatório. O autor acrescenta que, pode se pensar na (eq.12) como uma regressão de Y no tempo t sobre seu valor defasado em um período, onde:

$$Y_1 = Y_0 + u_1; Y_2 = Y_1 + u_2 = Y_0 + u_1 + u_2; Y_3 = Y_2 + u_3 = Y_0 + u_1 + u_2 + u_3 \quad (\text{eq.13})$$

Em geral, o processo se inicia em algum ponto 0 com o valor de Y_0 , temos: $Y_t = Y_0 + \sum ut$. Portanto escreveremos a (eq.13) como:

$$(Y_t - Y_{t-1}) = \Delta Y_t = u_t. \quad (\text{eq.14})$$

⁶ Passeio aleatório é muitas vezes comparado com um caminhar de bêbado. Deixando um bar, move-se a uma distância aleatório u_t no tempo t , e, continuando a caminhar indefinidamente, eventualmente se desviará cada vez mais do bar. O mesmo é dito sobre os preços das ações. O preço da ação de hoje é igual ao de ontem mais um choque aleatório. (GUJARATI e PORTER 2011, p. 735).

“Um teste de estacionariedade ou (ou não estacionariedade) que se tornou amplamente popular nos últimos anos é o teste de raiz unitária” (GUJARATI e PORTER 2011, Pág. 735). O nome raiz unitária deve-se ao fato de que $\rho = 1$. Portanto, os termos não-estacionariedade, passeio aleatório, raiz unitária e tendência estocástica podem ser tratados como equivalentes, que também pode ser descrito como:

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t; -1 \leq \rho \leq 1 \quad (\text{eq.15})$$

Em que u_t é um termo de erro de ruído branco, sabemos que, se $\rho = 1$, isto é, no caso da raiz unitária, a equação torna-se um modelo de passeio aleatório, ou seja, um processo estocástico não estacionário. Entretanto, o autor acrescenta que, não podemos estimar a equação pelos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e testar a hipótese de que $\rho = 1$ pelo teste habitual, porque esse teste é rigorosamente viesado no caso de uma raiz unitária. Desse modo manipula-se a (eq.15) como se segue:

$$\Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + u_t, \quad (\text{eq.16})$$

Em que $\delta = (\rho - 1)$ e Δ , como sempre, é o primeiro operador da diferença. Se $\delta = 0$, então $\rho = 1$. Isto é, temos uma raiz unitária, o que significa que a série temporal sob consideração é não estacionária, ou seja, tudo que temos que fazer é tomar as primeiras diferenças de Y_t , fazer a regressão dessas em Y_{t-1} e ver o coeficiente angular estimado ($= \delta$) é zero ou não. Se é zero, concluímos que Y_t é não estacionária; mas, se é negativo, conclui-se que Y_t é estacionária⁷.

Segundo Gujarati et al. (2011), para evitar a dificuldade da regressão espúria que surgir da regressão de uma série temporal não estacionária, temos que transformar as séries temporais não estacionárias para torna-las estacionárias, ou seja, se uma série temporal tem raiz unitária, as primeiras diferenças dessas séries temporais são estacionárias. A solução aqui é tomar as primeiras diferenças das séries temporais, em que:

⁷ Uma vez que $\delta = (\rho - 1)$, para que se tenha a estacionariedade, ρ deve ser menor do que um. Para isso acontecer δ deve ser negativo (GUJARATI e PORTER 2011, p. 748).

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (\text{eq.17})$$

Portanto, a maneira mais simples de fazer tal série temporal estacionária é regredi-la no tempo e os resíduos dessa regressão então serão estacionários, teremos a seguinte regressão:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + u_t \quad (\text{eq.18})$$

Em que, Y_t é a série temporal em estudo e t é a variável tendencial medida cronologicamente.

Conforme Wooldridge (2011) um teste de raiz unitária bastante usado para testar a estacionariedade da série é o desenvolvido por Dickey e Fuller. O teste para hipótese nula $\alpha = 1$ equivale a testar a regressão após incluir a constante se $(\alpha - 1) = 0$, com a representação Y_t que também pode ser descrita como:

$$\Delta Y_t = (\alpha - 1)Y_{t-1} + \mu_t \quad (\text{eq.19})$$

O teste foi utilizado para testar a estacionariedade da série, de acordo com a estimação para o modelo VAR. Conforme Gujarati e Porter (2011) o teste de raiz unitária pressupõe que:

Hipótese nula: $H_0: \delta = 0$. Há uma raiz unitária ou a série temporal é não estacionária, ou ela possui uma tendência estocástica.

Hipótese alternativa: $H_1: \delta < 0$. A série temporal é estacionária, possivelmente em torno de uma tendência determinística, sendo $\delta = \rho - 1$.

3.3.1 Vetor Auto-Regressivo (VAR)

Conforme Gujarati e Porter (2011), os Vetores Auto Regressivos (VAR) podem ser descritos como um modelo de duas variáveis que possuam uma causalidade bilateral, onde as variáveis têm relação simultânea. Surgiram na década de 1980 como resposta às críticas ao grande número de restrições impostas às estimações pelos modelos estruturais. Sendo assim, os modelos VAR examinam relações lineares entre cada variável e os valores defasados dela própria e de todas

as demais variáveis, impondo como restrições à estrutura da economia somente a escolha do conjunto relevante de variáveis e do número máximo de defasagens envolvidas nas relações entre elas. Nos modelos VAR, o número de defasagens é normalmente escolhido com base em critérios estatísticos. O modelo VAR pode ser expresso por:

$$X_t = A_0 + A_1X_{t-1} + \dots + A_pX_{t-p} + B_0Z_1 + B_1Z_{t-1} + \dots + B_pZ_{t-p} + et \quad (\text{eq.20})$$

Em que A_0 é o vetor de termos de interceptos, A_1, A_p são matrizes de coeficientes que relacionam vetores defasados das variáveis endógenas, B_0, B_p são matrizes que relatam valores atuais e defasados de variáveis exógenas, et é um vetor de erros, X, Z são vetores com k variáveis.

Conforme Wooldridge (2011) a metodologia VAR lembra superficialmente a metodologia de equações simultâneas uma vez que se considera diversas variáveis endógenas ao mesmo tempo que são explicadas por seus próprios valores defasados ou passados e pelos valores defasados de todas as demais variáveis endógenas no modelo.

Segundo Gujarati (2006, p. 682):

[...] se houver verdadeira simultaneidade entre um conjunto de variáveis, todas devem ser tratadas em pé de igualdade; não deve haver nenhuma distinção *a priori* entre variáveis endógenas e exógenas. Foi nesse espírito que Sims desenvolveu seu modelo VAR.

3.3.2 Teste de cointegração de Engle Granger.

Cointegração em séries temporais é de suma importância para quem trabalha com séries econômicas, pois possibilitam estudar e analisar relações estruturais entre as séries envolvidas. Mais precisamente, testes de cointegração permitem determinar se as séries temporais envolvidas possuem ou não uma relação a longo prazo. O teste mais conhecido para detectar cointegração entre séries temporais é o teste de Engle - Granger, que segue basicamente a definição de cointegração (ACTION 2018). As hipóteses do teste são:

H_0 : As séries temporais não são cointegradas;

H_1 : As séries temporais são cointegradas.

Sejam X_t e Y_t duas séries temporais. Primeiramente precisamos verificar se X_t e Y_t são não estacionárias, para isso utilizaremos o teste de ADF para testar a não estacionariedade da série. Após a verificação da presença de raiz unitária nas séries temporais X_t e Y_t , precisamos definir qual o tipo de regressão se adequa melhor aos nossos dados, entre os casos: Com intercepto, com tendência e intercepto ou sem nenhum termo adicional. Em cada caso, os modelos de regressão são dados por:

$$Z_t = Y_t - \beta X_t + \alpha \quad (\text{eq.21})$$

$$Z_t = Y_t - \beta X_t + \gamma t + \alpha \quad (\text{eq.22})$$

$$Z_t = Y_t - \beta X_t \quad (\text{eq.23})$$

respectivamente, onde β é o parâmetro de cointegração, α é o intercepto (constante) e γ é o parâmetro de tendência. Para o presente estudo o modelo de regressão adequado aos dados explorados foi a regressão $Z_t = Y_t - \beta X_t$.

Para (GUJARATI 2000) a regressão de uma variável de série temporal sobre uma ou mais variáveis de outra série temporal muitas vezes pode dar resultados sem sentido ou espúrio. O teste EG pode ser usado para verificar se duas ou mais séries são co-integradas.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Tendo por base os dados recolhidos junto das duas exchanges e após o seu tratamento estatístico, no presente ponto serão apresentados os principais resultados da investigação. Além disso, vão ser apresentados os desfechos que permitem dar resposta ao problema de pesquisa pretendido.

4.1 ESTACIONARIEDADE DA SÉRIE

Tabela 1: Teste de Dickey-Fuller Aumentado.

VARIÁVEL	NÍVEL		1ª DIFERENÇA	
	P - VALOR	ESTACIONARIA	P - VALOR	ESTACIONÁRIA
BTC_BRL	0,4554	NÃO	8.206e-125*	SIM
BTC_EUA	0,4371	NÃO	3.245e-138*	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor de acordo com as análises do Gretl.

A Tabela 1 apresenta os resultados alcançados com o teste de Dickey-Fuller Aumentado, com defasagens máximas para 71 minutos⁸. Para a amostra sem a primeira diferença (Nível) o teste não rejeitou a hipótese nula H_0 , e com a primeira diferença ($d = 1$) o teste rejeitou a hipótese nula H_0 . Os dados mostram que ambas variáveis são não estacionárias em nível e estacionárias na primeira diferença. Ou seja, A hipótese nula H_0 , de que a série testada possui raiz unitária (é não estacionária), é rejeitada na primeira diferença da série para as duas variáveis analisadas: 1) BTC_BRL e 2) BTC_EUA.

Hipótese nula BTC_BRL (NÍVEL): $H_0: P - VALOR = 0.4554$ (há uma raiz unitária ou a série temporal é não estacionária, ou ela possui uma tendência estocástica).

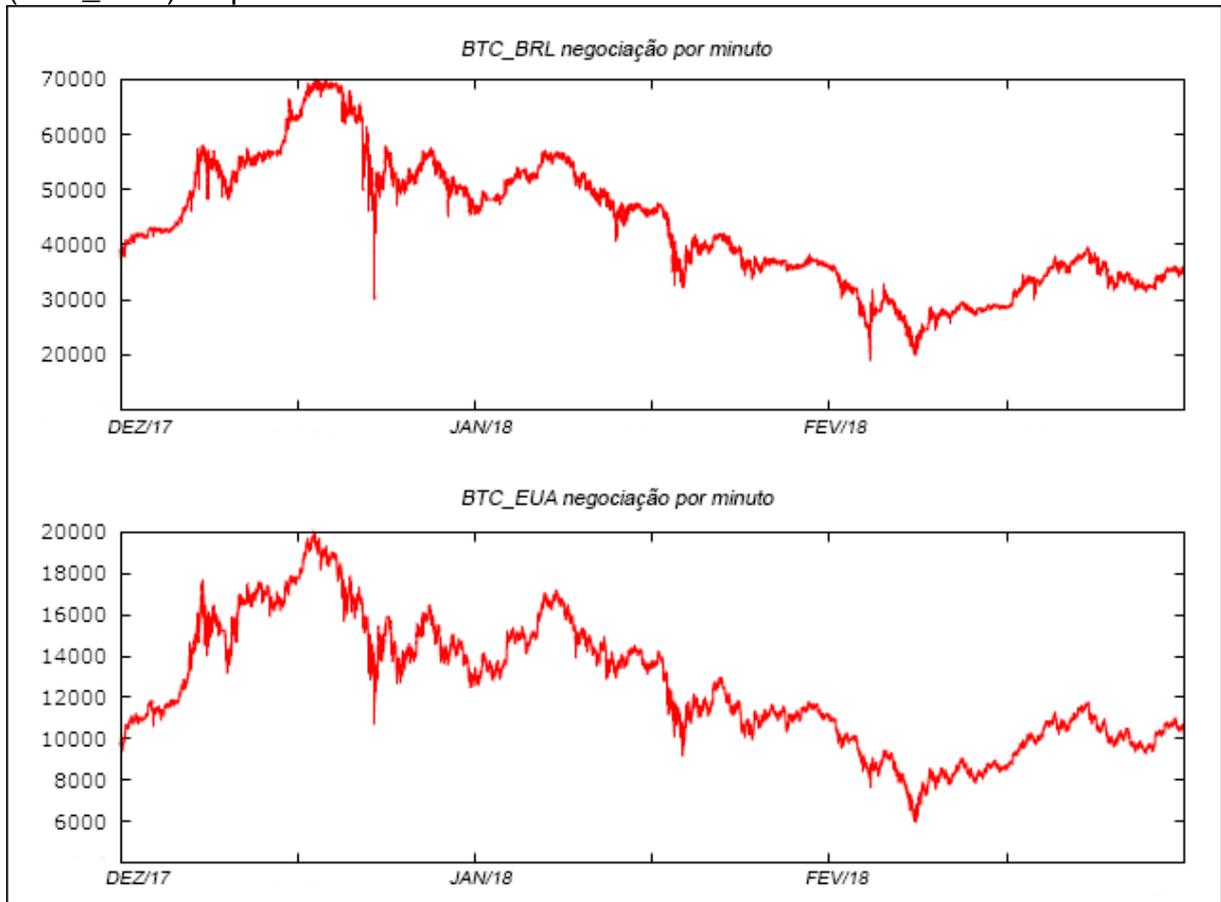
Hipótese alternativa BTC_BRL (1ª DIFERENÇA): $H_1: P - VALOR = -125$ (a série temporal é estacionária, possivelmente em torno de uma tendência determinística).

⁸ Número de defasamentos máximo possível de se rodar no Gretl devido à complexidade das amostras.

Hipótese nula BTC_EUA (NÍVEL): $H_0: P - VALOR = 0.4371$ (há uma raiz unitária ou a série temporal é não estacionária, ou ela possui uma tendência estocástica).

Hipótese alternativa BTC_EUA (NÍVEL 1ª DIFERENÇA): $H_1: P - VALOR = -138$ (a série temporal é estacionária, possivelmente em torno de uma tendência determinística).

Gráfico 1: Evolução do preço do Bitcoin negociados no Brasil (BTC_BRL) e nos EUA (BTC_EUA) no período de 12/2017 a 02/2018.

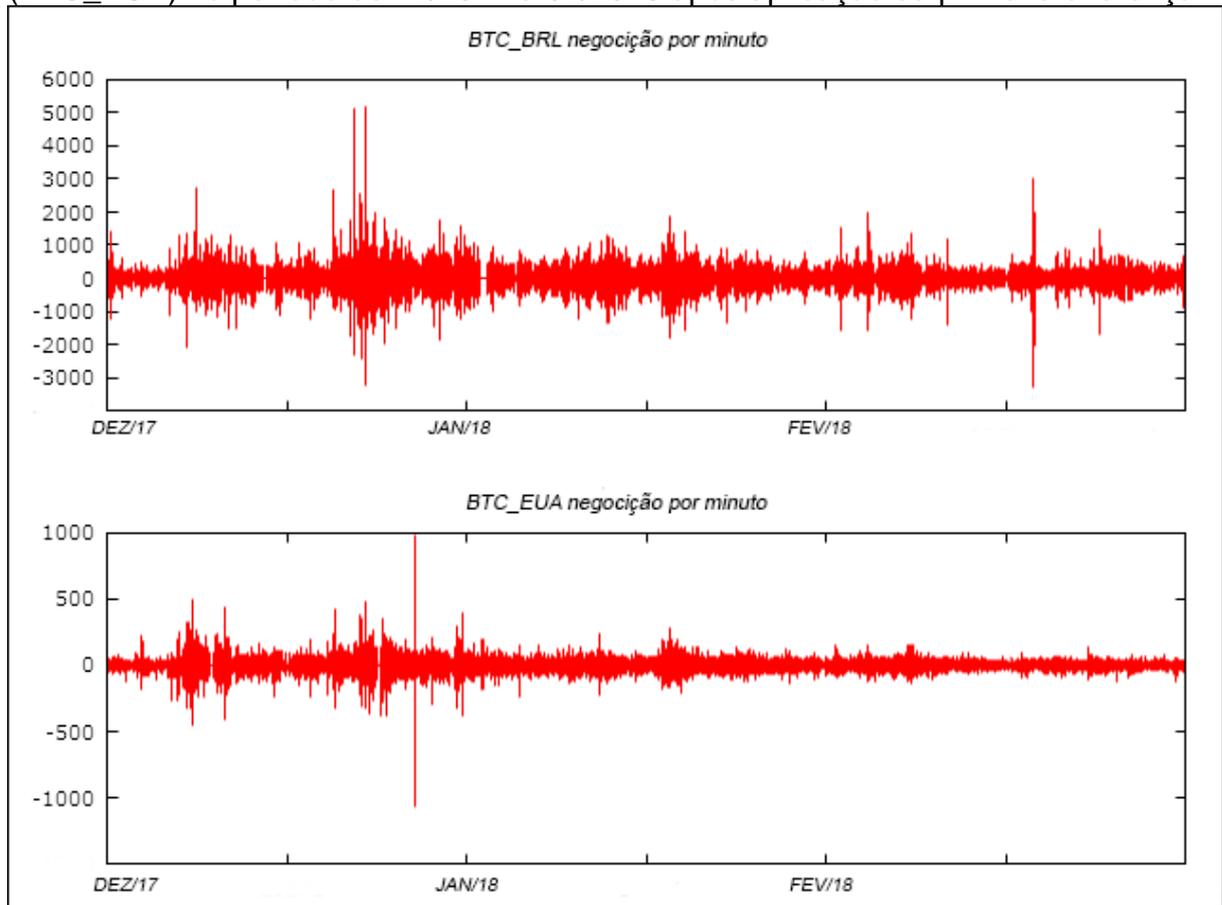


Fonte: elaborado pelo autor de acordo com as análises do Gretl

Conforme o Gráfico 1 vemos a presença de séries estocásticas não estacionárias, $(0,4554$ e $0,4371)$ para o Brasil e EUA respectivamente, constatada através do teste de Dickey e Fuller Aumentado, sem a primeira diferença, ou seja, $(d = 0)$. A partir do gráfico é possível perceber que o preço do Bitcoin no mercado brasileiro segue a tendência do preço do Bitcoin no mercado americano, o que será verificado posteriormente através do teste de causalidade.

A variação do preço do Bitcoin na corretora americana ocorre com maior rapidez quando comparado a corretora brasileira, percebe-se através do gráfico 1 que assim que se atingisse um ponto de alta nos EUA, em seguida começava a ocorrer uma queda, enquanto que no Brasil este processo ocorreu em um espaço de tempo maior.

Gráfico 2: Evolução do preço do Bitcoin negociados no Brasil (BTC_BRL) e nos EUA (BTC_EUA) no período de 12/2017 a 02/2018 após aplicação da primeira diferença.



Fonte: elaborado pelo autor de acordo com as análises do Gretl.

No Gráfico 2 observa-se os mesmos dados vistos no Gráfico 1, em uma tendência ou serie estocástica estacionaria ($8.206e-125$ e $3.245e-138$) para o Brasil e EUA respetivamente, constatada através do teste de Dickey e Fuller Aumentado de forma a facilitar os procedimentos de análise. A série foi diferenciada apenas uma vez para torna-la estacionária ($d = 1$).

Conforme Gujarati e Porter (2011) não é recomendável que se prossiga com a análise dos dados quando as séries temporais apresentam um comportamento não estacionário, de forma a evitar que se chegue a resultados espúrios. Antes porém,

é necessário que as séries sejam diferenciadas de forma a atingir a estacionariedade e só assim prosseguir com as análises dos dados.

4.2 VAR E DEFASAMENTOS

Após a estimação do modelo VAR, conclui-se que há uma simultaneidade verdadeira entre o conjunto das variáveis (BTC_BRL e BTC_EUA), ou seja, em termos gerais o p – valor foi significativo. O $Qui - quadrado = 0.000$ rejeitando a hipótese nula H_0 , ou seja, $Qui - quadrado < 0,05$ significando que existe associação ou relação entre o BTC_BRL e BTC_USA.

Tabela 2: Seleção de defasamento VAR

DEFASAMENTO VAR		
CRITÉRIOS	DEFASAMENTOS	VALOR SIGNIFICATIVO
AIC	36	22,767076*
BIC	16	22,773708*
HQC	25	22,769826*

Fonte: elaborado pelo autor de acordo com as análises do Gretl.

Conforme Wooldridge (2011) a seleção de defasamentos VAR nos permite enxergar a distância ou diferença entre duas séries temporais ou mais. Atendendo as limitações do pacote econométrico Gretl, 36 foi o número máximo de defasagens possíveis de serem computadas e analisadas, em função disto, o critério AIC fica inconclusivo, pois, deve-se admitir a possibilidade de o mesmo poder vir a representar um resultado maior que 36 minutos.

O critério BIC indicou uma defasagem mínima de 16 minutos entres as séries, significando que um dos mercados leva no mínimo 16 minutos para se ajustar ou atingir o preço de equilíbrio $BTC_{BRL} = BTC_{EUA}$, abrindo oportunidade para operações de arbitragem de preços.

4.3 TESTE DE COINTEGRAÇÃO GRANGER E CORREÇÃO DE ERROS PELO MQO.

Após a aplicação do teste de ADF às séries BTC_BRL e BTC_EUA em nível, observamos p-valores de 0,4554 e 0,4371 respectivamente, portanto aceitamos a hipótese nula das séries serem não estacionárias. Em função dos resultados

alcançados com o teste de ADF é viável prosseguirmos com a aplicação do teste de cointegração. O teste de Granger foi utilizado para medir o nível de significância da cointegração das séries, ou seja, verificar se existe uma cointegração entre BTC_BRL e BTC_USA. O $p - \text{valor assintótico} = 0.000$ significa a existência de cointegração entre ambas variáveis. O que significa que a série pode ser descrita como um modelo de correção de erro. Caso o teste de Granger resultasse em um $p - \text{valor assintótico} > 5\%$ a série não poderia ser descrita como um modelo de correção de erros de modo a evitar resultados espúrios, ou seja, rejeitaríamos a hipótese de existência de cointegração entre as séries ($H1$).

Gujarati e Porter (2011) argumentam que para explicar o efeito causalidade considera-se uma pergunta frequente em macroeconomia: “será o PIB que causa a Oferta Monetária ou será a Oferta Monetária que causa o PIB?”. A correção de erros pelo MQO pressupõe que as informações relevantes para a previsão das respectivas variáveis preditivas “PIB” e “Oferta Monetária” estão contidas unicamente nos dados de séries temporal dessas variáveis.

Tabela 3: Correção de erros pelo método MQO

VARIAVEL DEPENDENTE BTC_BRL	
VARIAVEIS	VALOR P
BTC_BRL	0,0001***
BTC_USA	0,0005***
Correção de erros	0,0001***
VARIAVEL DEPENDENTE BTC_USA	
BTC_BRL	0,9705
BTC_USA	0,0001***
Correção de erros	0.8588

Fonte: elaborado pelo autor de acordo com as análises do Gretl.

Granger (1969) assume que o futuro não pode causar o presente nem o passado. Se o evento X ocorre depois do evento Z, sabemos que X não pode causar Z. Ao mesmo tempo, se X ocorre antes que Z, isso não significa que X, necessariamente, cause Z, ou seja, se X causa Z então os valores passados de X contribuem para determinar Z, independente da contribuição dos valores passados de Z. Portanto, escrevemos a equação como:

$$Z_t = \alpha + \beta_1 Z_{t-1} + \beta_2 Z_{t-2} + \dots + \delta_1 X_{t-1} + \delta_2 X_{t-2} + \dots + e_t \quad (\text{eq.24})$$

Após a verificação de cointegração foi aplicada a correção de erros através do MQO para testar a causalidade das séries. A estimação do modelo de correção de erros visou observar o movimento de ajustes em relação ao tempo, ou seja, qual variável se move em direção a outra para atingir o equilíbrio. O equilíbrio é dado por: $BTC_{BRL} = BTC_{EUA}$. Para a estimação da correção de erros, as variáveis foram recuadas em 1. A principal variável a ser analisada é a correção de erros, pois, é esta quem vai significar se a variável dependente se move em função da variável explicativa.

Conforme a Tabela 1, para a variável dependente BTC_BRL o resíduo foi significativo em 1% (0,0001***), significando que a variação do preço em BTC_BRL se move em direção ao preço de BTC_EUA para restaurar o equilíbrio. Para a variável dependente BTC_EUA percebe-se que o resíduo não foi significativo (0.8588), significando que a variação do preço em BTC_EUA não se move em direção ao preço de BTC_BRL para restaurar o equilíbrio. Atendendo a HME, pode-se afirmar que o Brasil se apresenta como um mercado fraco de criptomoedas quando comparado ao mercado americano, pelo fato deste último incorporar as demais informações disponíveis no mercado ao preço do ativo com maior rapidez. Portanto, em função dos dados analisados, é conclusivo admitirmos que existe uma relação de causalidade entre as séries analisadas. A variação percentual em BTC_BRL ocorre depois de BTC_EUA, seguindo a tendência dos preços praticados no mercado americano, ou seja, BTC_EUA causa BTC_BRL.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo é um campo a ser explorado, pois os estudos relacionados à arbitragem cambial envolvendo criptomoedas ainda são reduzidos. Entretanto, o presente trabalho propôs-se analisar a existência de relações consistentes de arbitragem cambial entre Bitcoin/Real e Bitcoin/Dólar.

Caracterizando-se como explicativa de delineamento experimental quanto ao tipo e quantitativa quanto ao método. A pesquisa foi construída sobre os conceitos de moeda, arbitragem cambial, eficiência de mercados e análise de trabalhos empíricos relacionados a TAP. Para a análise econométrica dos dados, usou-se os testes de ADF, VAR, Defasagens VAR, EG e MQO.

Os dados foram coletados a partir das APIs das corretoras observadas e manipulados em dois *softwares*, nomeadamente Excel e Gretl.

Face às diretrizes seguidas no trabalho de forma a responder o problema de pesquisa, concluiu-se que existem relações consistentes de arbitragem cambial entre Bitcoin/Real e Bitcoin/Dólar, com uma defasagem mínima de 16 minutos entre as séries observadas. Portanto, em função dos dados analisados, foi conclusivo admitirmos que a variação percentual em BTC_BRL ocorre depois de BTC_EUA, logo, BTC_EUA causa BTC_BRL.

O Bitcoin, a primeira criptomoeda a existir, abriu caminho para centenas de moedas semelhantes e orgulha-se de ter uma capitalização bolsista de mais de 70 bilhões de dólares. O Bitcoin foi criado por um desconhecido que utiliza o pseudônimo de Satoshi Nakamoto, um mercado que não para de crescer e atrair agentes econômicos em determinados pontos do mundo (ETORO 2018).

Diante desta dinâmica de crescimento e expansão, a arbitragem se torna um fator indispensável, já que essas operações transformaram-se num dos principais veículos de unificação internacional dos preços de ativos financeiros de mesma natureza, de seu ajustamento temporal e de correia de transmissão dos impactos sofridos num mercado para os outros. Em função disto, recomenda-se que novos trabalhos voltados a arbitragem cambial e criptomoedas sejam produzidos, analisando séries temporais maiores e envolvendo outras criptomoedas como o LTC e o ETH.

REFERÊNCIAS

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2012. 762p. ISBN 9788522473137 (enc.).

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2014. xxxii, 790p. ISBN 9788522490905 (enc.).

BADIN, Cláudio. **Inovação na gestão ao mercado externo**. *RAE-eletrônica*, 2003, 2.1.

BATISTACOIN.NET. **O que é exchanges?** Disponível em: <<https://blog.mettzer.com/referencia-de-sites-e-artigos-online/>> Acesso em: 08/10/2018.

BERK, Jonathan B.; DEMARZO, Peter M. **Finanças empresariais**. Porto Alegre: Bookman, 2009. xvii, 1048 p. ISBN 9788577803392 (enc.).

BITPREMIER. **Gemini vs Coinbase**. Disponível em: <https://www.bitpremier.com/coinbase-review/gemini-vscoinbase?fbclid=IwAR0PclpG-ZlcO3X5CkFsfJ09P_05VUaWY_mC079--8mzaed330u2yA8c9Ts> Acesso em: 07/11/2018.

BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart C.; ALLEN, Franklin. **Princípios de finanças corporativas**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH Ed., 2013. xxiv, 876 p. ISBN 9788580552386 (broch.).

BODIE, Zvi; KANE, Alex; MARCUS, Alan J.; TAYLOR, Robert Brian. **Fundamentos de investimentos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2000. 632 p. ISBN 8573075406.

BODIE, Zvi; MERTON, Robert C. **Finanças**. Porto Alegre: Bookman, 1999. 436 p. ISBN 857307535X.

CAVUSGIL S. Tamer, **Negócios Internacionais: estratégia, gestão e novas realidades**. São Paulo: 2010. 522 p. ISBN 9788576053798 (broch).

CHICARINO, V. R., et al. **Uso de blockchain para privacidade e segurança em internet das coisas**. Livro de Minicursos do VII Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais. Brasília: SBC, 2017.

CHICK, Victoria. **Sobre moeda, método e Keynes: ensaios escolhidos**. Campinas, SP: Ed. UNICAMP, 2010. 294 p.

CRYPTOCOINCHARTS. **Gemini information.** Disponível em: <<https://cryptocoincharts.info/markets/show/gemini>> Acesso em: 07/11/2018.

NUNES, Da Nóbrega, Daniella Karla; MAIA, Sinézio **Fernandes. Mudança de regime cambial e a arbitragem no mercado de ativos brasileiro**: um teste econométrico da condição paridade de juros. *Revista Ciências Administrativas*, 2007, 13.2: 250-258.

ETORO. **Descubra quais as principais criptomoedas em que pode investir atualmente.** Disponível em: < <https://www.etoro.com/pt-pt/markets/btc>> Acesso em: 09/11/2018.

FARHI, Maryse. **Derivativos financeiros: hedge, especulação e arbitragem.** *Economia e Sociedade*, v. 8, n. 2, p. 13, 1999.

FONSECA, Hubert; **DISTRIBUÍDOS–PUC-RIO, Algoritmos.** *Redes Peer to Peer*. 2008.

FORTUNA, Eduardo. **Mercado financeiro: produtos e serviços.** 19. ed., rev. atual. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014. 1066 p. ISBN 9788541400497

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** *São Paulo*, 2002, 5.61: 1617.

Granger, C.W.J. (1969) **Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral models**, *Econometrica* 34, 541-51.

GUJARATI, Damodar N. **Econometria básica.** 3. ed. São Paulo: Makron Books, 2000. xxxvii, 846 p. ISBN 8534611114.

GUJARATI, Damodar N. PORTER Dawn C. **Econometria básica.** 5.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 924 p. ISBN 9788563308320 (broch.).

HALL Pearson Prentice, **Négocios Internacionais: estratégia, gestão e novas realidades.** São Paulo: 2010. 522 p. ISBN 9788576053798 (broch.).

ISAAC, Andreas; KAKAVANDY, Shahow. **The earth trembles before cryptocurrencies; but how does a blockchain-based smart money platform perform?.** 2018.

JOZSEF, Robert. **A origem do dinheiro.** São Paulo: Ed. Global, 1982. 95 p. (Universidade Popular 5).

JUNIOR, Rabelo; SARAIVA, Tarcísio; IKEDA, Ricardo Hirata. **Mercados eficientes e arbitragem: um estudo sob o enfoque das finanças comportamentais**. Revista Contabilidade & Finanças, v. 15, n. 34, p. 97-107, 2004.

KORTEWEG, S. **Moeda**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, [1959]. 376 p.

LOPES, João do Carmo; ROSSETTI, José Paschoal. **Economia monetária**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2002. 494 p. ISBN 8522428670.

LOPES, João do Carmo; ROSSETTI, José Paschoal. **Economia monetária**. 9. ed. rev., ampl. e atual. São Paulo: Atlas, 2005. 496 p. ISBN 8522439699.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico**: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2007. 225 p. ISBN 9788522448784 (Broch.).

DE MELO, Matheus Henrique Guedes; COUTINHO, Eduardo Senra; SALVATO, Márcio Antônio. **Teste de arbitragem no mercado de ouro: um estudo Brasil X EUA**. *Contabilidade Vista & Revista*, 2016, 27.1: 111-129.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. 2008.

OLIVEIRA, Gustavo Rezende de. **Testando a existência de efeito lead-lag entre os mercados acionários norte-americano e brasileiro**. 2009.

PALAIÁ, Daniel; HOLLAND, Márcio. **Taxa de câmbio e paridade de poder de compra no Brasil**: análise econométrica com quebra estrutural. *Economia Aplicada*, 2010, 14.1: 5-24.

PAULANI, Leda; BRAGA, Márcio Bobik. **A nova contabilidade social**: uma introdução à macroeconomia. 4. ed. rev. e atual. São Paulo: Saraiva, 2012. xx, 402 p. ISBN 9788502064300 (broch.).

ROSS, Stephen A. **The arbitrage theory of capital asset pricing**. *Journal of economic theory*, v. 13, n. 3, p. 341-360, 1976.

RUDIO, Franz Victor. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. 34. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2007. 144 p. ISBN 9788532600271 (broch.).

SANTOS, Antonio Raimundo dos. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. 5.ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2002. 139 p. ISBN 8574901024.

TANNURI, M. Eduarda; SOUZA, Geraldo S.; CARON, Alain. **Ajuste de um Modelo de Arbitragem de Preços Sob Incertezas Inflacionárias**. *Brazilian Review of Econometrics*, 1993, 13.2: 167-179.

ULRICHE, Fernando. **Bitcoin, a moeda na era digital**. 1. Ed. São Paulo: Misis Brasil, 2014. 100p.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. xxiii, 701 p. ISBN 9788522104468 (broch.).

ZHABIAK, S. A. **How can blockchain change the business model**. Universidade Nacional de Aviação. 2017.

ANEXOS

Tabela 4: Teste de Dickey-Fuller para BTC_BRL em nível

Teste Aumentado de Dickey-Fuller para btc_br
 testar para baixo a partir de 71 desfasamentos, critério AIC
 dimensão de amostragem 129366
 hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
 incluindo 53 desfasamentos de $(1-L)btc_br$
 modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
 valor estimado de $(a - 1)$: -6,96321e-005
 estatística de teste: $\tau_c(1) = -1,65281$
 valor p assintótico 0,4554
 coeficiente de 1ª-ordem para e: -0,000
 diferenças desfasadas: $F(53, 129311) = 194,570 [0,0000]$

Tabela 5: Teste de Dickey-Fuller para BTC_BRL em 1ª diferença

Teste Aumentado de Dickey-Fuller para btcbr_fd
 testar para baixo a partir de 71 desfasamentos, critério AIC
 dimensão de amostragem 129366
 hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
 incluindo 52 desfasamentos de $(1-L)btcbr_fd$
 modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
 valor estimado de $(a - 1)$: -1,58772
 estatística de teste: $\tau_c(1) = -51,147$
 valor p assintótico 0,0001
 coeficiente de 1ª-ordem para e: -0,000
 diferenças desfasadas: $F(52, 129312) = 31,595 [0,0000]$

com constante e tendência
 incluindo 52 desfasamentos de $(1-L)btcbr_fd$
 modelo: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)y(-1) + \dots + e$
 valor estimado de $(a - 1)$: -1,58793
 estatística de teste: $\tau_ct(1) = -51,1503$
 valor p assintótico 8,206e-125
 coeficiente de 1ª-ordem para e: -0,000
 diferenças desfasadas: $F(52, 129311) = 31,597 [0,0000]$

Tabela 6: Teste de Dickey-Fuller para BTC_EUA em nível

Teste Aumentado de Dickey-Fuller para btc_usa
 testar para baixo a partir de 71 desfasamentos, critério AIC
 dimensão de amostragem 129350

hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
 incluindo 69 desfasamentos de (1-L)btc_usa
 modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
 valor estimado de $(a - 1)$: -4,75463e-005
 estatística de teste: $\tau_c(1) = -1,68864$
 valor p assintótico 0,4371
 coeficiente de 1ª-ordem para e: -0,000
 diferenças desfasadas: $F(69, 129279) = 5,857 [0,0000]$

Tabela 7: Teste de Dickey-Fuller para BTC_EUA em 1ª diferença

Teste Aumentado de Dickey-Fuller para btcus_fd
 testar para baixo a partir de 71 desfasamentos, critério AIC
 dimensão de amostragem 129350
 hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
 incluindo 68 desfasamentos de (1-L)btcus_fd
 modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
 valor estimado de $(a - 1)$: -1,11096
 estatística de teste: $\tau_c(1) = -44,6737$
 valor p assintótico 1,644e-007
 coeficiente de 1ª-ordem para e: -0,000
 diferenças desfasadas: $F(68, 129280) = 4,731 [0,0000]$

com constante e tendência
 incluindo 68 desfasamentos de (1-L)btcus_fd
 modelo: $(1-L)y = b_0 + b_1*t + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
 valor estimado de $(a - 1)$: -1,1114
 estatística de teste: $\tau_{ct}(1) = -44,6826$
 valor p assintótico 3,245e-138
 coeficiente de 1ª-ordem para e: -0,000
 diferenças desfasadas: $F(68, 129279) = 4,733 [0,0000]$

Tabela 8: Autorregressão vetorial VAR

Sistema VAR, grau de desfasamento 36
 Estimativas Mínimos Quadrados (OLS), observações 38-129420 (T = 129383)
 Log. da verosimilhança = -1472690,3
 Determinante da matriz de covariâncias = 26405041
 AIC = 22,7671
 BIC = 22,7781
 HQC = 22,7704
 Teste de Portmanteau: $LB(48) = -4,60141$, gl = 48 [nan]

Equação 1: btcbr_fd

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>rácio-t</i>	<i>valor p</i>	
const	-0,0833130	0,471687	-0,1766	0,8598	
btcbr_fd_1	-0,303091	0,00278130	-109,0	<0,0001	***
btcbr_fd_2	-0,138623	0,00290621	-47,70	<0,0001	***
btcbr_fd_3	-0,0743644	0,00293154	-25,37	<0,0001	***
btcbr_fd_4	-0,0525913	0,00293879	-17,90	<0,0001	***
btcbr_fd_5	-0,0463604	0,00294264	-15,75	<0,0001	***
btcbr_fd_6	-0,0388883	0,00294545	-13,20	<0,0001	***
btcbr_fd_7	-0,0282908	0,00294740	-9,599	<0,0001	***
btcbr_fd_8	-0,0281519	0,00294848	-9,548	<0,0001	***
btcbr_fd_9	-0,0216265	0,00294950	-7,332	<0,0001	***
btcbr_fd_10	-0,0214701	0,00295004	-7,278	<0,0001	***
btcbr_fd_11	-0,0190182	0,00295057	-6,446	<0,0001	***
btcbr_fd_12	-0,0182132	0,00295073	-6,172	<0,0001	***
btcbr_fd_13	-0,0230040	0,00295067	-7,796	<0,0001	***
btcbr_fd_14	-0,00912934	0,00295067	-3,094	0,0020	***
btcbr_fd_15	-0,00709830	0,00295026	-2,406	0,0161	**
btcbr_fd_16	-0,0124184	0,00294989	-4,210	<0,0001	***
btcbr_fd_17	-0,00961525	0,00294985	-3,260	0,0011	***
btcbr_fd_18	-0,00998068	0,00294964	-3,384	0,0007	***
btcbr_fd_19	-0,00772368	0,00294934	-2,619	0,0088	***
btcbr_fd_20	-0,00942808	0,00294942	-3,197	0,0014	***
btcbr_fd_21	-0,0159592	0,00294880	-5,412	<0,0001	***
btcbr_fd_22	-0,00933468	0,00294795	-3,166	0,0015	***
btcbr_fd_23	-0,00690574	0,00294639	-2,344	0,0191	**
btcbr_fd_24	-0,00148912	0,00294424	-0,5058	0,6130	
btcbr_fd_25	-0,00920069	0,00294303	-3,126	0,0018	***
btcbr_fd_26	-0,00712318	0,00294169	-2,421	0,0155	**
btcbr_fd_27	-0,00299486	0,00293953	-1,019	0,3083	
btcbr_fd_28	0,00160843	0,00293720	0,5476	0,5840	
btcbr_fd_29	-0,00127429	0,00293411	-0,4343	0,6641	
btcbr_fd_30	-0,00409228	0,00293143	-1,396	0,1627	
btcbr_fd_31	0,00220230	0,00292628	0,7526	0,4517	
btcbr_fd_32	0,00245393	0,00291907	0,8407	0,4005	
btcbr_fd_33	-0,00576396	0,00291049	-1,980	0,0477	**
btcbr_fd_34	-0,00884896	0,00289742	-3,054	0,0023	***
btcbr_fd_35	-0,00712915	0,00286632	-2,487	0,0129	**
btcbr_fd_36	-0,00677071	0,00274862	-2,463	0,0138	**
btcus_fd_1	0,386772	0,0155687	24,84	<0,0001	***
btcus_fd_2	0,452687	0,0156109	29,00	<0,0001	***
btcus_fd_3	0,366726	0,0156638	23,41	<0,0001	***
btcus_fd_4	0,312509	0,0156969	19,91	<0,0001	***
btcus_fd_5	0,295747	0,0157207	18,81	<0,0001	***
btcus_fd_6	0,261944	0,0157420	16,64	<0,0001	***
btcus_fd_7	0,169016	0,0157595	10,72	<0,0001	***
btcus_fd_8	0,195241	0,0157678	12,38	<0,0001	***
btcus_fd_9	0,171129	0,0157780	10,85	<0,0001	***
btcus_fd_10	0,173001	0,0157854	10,96	<0,0001	***

btcus_fd_11	0,136337	0,0157923	8,633	<0,0001	***
btcus_fd_12	0,104406	0,0157966	6,609	<0,0001	***
btcus_fd_13	0,169231	0,0157990	10,71	<0,0001	***
btcus_fd_14	0,153117	0,0158060	9,687	<0,0001	***
btcus_fd_15	0,131381	0,0158117	8,309	<0,0001	***
btcus_fd_16	0,114612	0,0158155	7,247	<0,0001	***
btcus_fd_17	0,0524698	0,0158178	3,317	0,0009	***
btcus_fd_18	0,0766949	0,0158178	4,849	<0,0001	***
btcus_fd_19	0,0640474	0,0158188	4,049	<0,0001	***
btcus_fd_20	0,0636052	0,0158198	4,021	<0,0001	***
btcus_fd_21	0,0541249	0,0158191	3,421	0,0006	***
btcus_fd_22	0,0761629	0,0158195	4,814	<0,0001	***
btcus_fd_23	0,103392	0,0158197	6,536	<0,0001	***
btcus_fd_24	0,0890926	0,0158222	5,631	<0,0001	***
btcus_fd_25	0,0726531	0,0158232	4,592	<0,0001	***
btcus_fd_26	0,0231217	0,0158245	1,461	0,1440	
btcus_fd_27	0,0365538	0,0158236	2,310	0,0209	**
btcus_fd_28	0,0220708	0,0158215	1,395	0,1630	
btcus_fd_29	-0,00212351	0,0158175	-0,1343	0,8932	
btcus_fd_30	0,0205331	0,0158121	1,299	0,1941	
btcus_fd_31	0,0102342	0,0158076	0,6474	0,5174	
btcus_fd_32	0,0118605	0,0158059	0,7504	0,4530	
btcus_fd_33	0,0385362	0,0158013	2,439	0,0147	**
btcus_fd_34	0,0381625	0,0157987	2,416	0,0157	**
btcus_fd_35	0,0403232	0,0157873	2,554	0,0106	**
btcus_fd_36	-0,0526409	0,0157661	-3,339	0,0008	***

Média var. dependente	-0,032464	D.P. var. dependente	178,5675
Soma resíd. quadrados	3,72e+09	E.P. da regressão	169,6644
R-quadrado	0,097734	R-quadrado ajustado	0,097231
F(72, 129310)	194,5400	valor P(F)	0,000000
rho	0,000044	Durbin-Watson	1,999910

Testes-F com zero restrições:

Todos os desfasamentos de btcb_r_fd F(36, 129310) = 344,89 [0,0000]

Todos os desfasamentos de btcus_fd F(36, 129310) = 96,231 [0,0000]

Todas as variáveis, desfasamento 36F(2, 129310) = 8,9937 [0,0001]

Equação 2: btcus_fd

	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>rácio-t</i>	<i>valor p</i>	
const	0,00510533	0,0842664	0,06059	0,9517	
btcb_r_fd_1	0,000535254	0,000496878	1,077	0,2814	
btcb_r_fd_2	0,000712307	0,000519192	1,372	0,1701	
btcb_r_fd_3	0,00130493	0,000523718	2,492	0,0127	**
btcb_r_fd_4	0,00230728	0,000525013	4,395	<0,0001	***
btcb_r_fd_5	0,000455753	0,000525701	0,8669	0,3860	
btcb_r_fd_6	0,000257964	0,000526203	0,4902	0,6240	
btcb_r_fd_7	0,000714085	0,000526551	1,356	0,1751	

btcbr_fd_8	0,000502103	0,000526743	0,9532	0,3405	
btcbr_fd_9	0,000123547	0,000526927	0,2345	0,8146	
btcbr_fd_10	6,03167e-06	0,000527022	0,01144	0,9909	
btcbr_fd_11	-0,000629611	0,000527116	-1,194	0,2323	
btcbr_fd_12	0,000334425	0,000527146	0,6344	0,5258	
btcbr_fd_13	0,000560458	0,000527135	1,063	0,2877	
btcbr_fd_14	-0,000714807	0,000527134	-1,356	0,1751	
btcbr_fd_15	-0,000176733	0,000527061	-0,3353	0,7374	
btcbr_fd_16	-0,00167916	0,000526995	-3,186	0,0014	***
btcbr_fd_17	-0,000298297	0,000526989	-0,5660	0,5714	
btcbr_fd_18	-0,000632028	0,000526951	-1,199	0,2304	
btcbr_fd_19	-0,00254687	0,000526898	-4,834	<0,0001	***
btcbr_fd_20	-0,00139748	0,000526912	-2,652	0,0080	***
btcbr_fd_21	0,000201135	0,000526800	0,3818	0,7026	
btcbr_fd_22	0,000231801	0,000526650	0,4401	0,6598	
btcbr_fd_23	-0,000776520	0,000526371	-1,475	0,1402	
btcbr_fd_24	0,000454326	0,000525986	0,8638	0,3877	
btcbr_fd_25	-0,00124211	0,000525770	-2,362	0,0182	**
btcbr_fd_26	0,000765341	0,000525531	1,456	0,1453	
btcbr_fd_27	0,000802546	0,000525144	1,528	0,1265	
btcbr_fd_28	0,000104040	0,000524728	0,1983	0,8428	
btcbr_fd_29	0,000330032	0,000524177	0,6296	0,5289	
btcbr_fd_30	0,000573256	0,000523698	1,095	0,2737	
btcbr_fd_31	0,000734988	0,000522777	1,406	0,1597	
btcbr_fd_32	-0,000240121	0,000521490	-0,4605	0,6452	
btcbr_fd_33	-4,77313e-07	0,000519957	-0,0009180	0,9993	
btcbr_fd_34	-3,61655e-05	0,000517621	-0,06987	0,9443	
btcbr_fd_35	0,00139564	0,000512066	2,726	0,0064	***
btcbr_fd_36	0,000673274	0,000491039	1,371	0,1703	
btcus_fd_1	-0,0261375	0,00278133	-9,397	<0,0001	***
btcus_fd_2	-0,0159752	0,00278888	-5,728	<0,0001	***
btcus_fd_3	0,00169796	0,00279832	0,6068	0,5440	
btcus_fd_4	-0,00285462	0,00280423	-1,018	0,3087	
btcus_fd_5	0,000225618	0,00280850	0,08033	0,9360	
btcus_fd_6	-0,0137676	0,00281230	-4,895	<0,0001	***
btcus_fd_7	-0,0132129	0,00281542	-4,693	<0,0001	***
btcus_fd_8	-0,0102991	0,00281691	-3,656	0,0003	***
btcus_fd_9	-0,00649127	0,00281872	-2,303	0,0213	**
btcus_fd_10	-0,00276895	0,00282005	-0,9819	0,3262	
btcus_fd_11	0,00541365	0,00282128	1,919	0,0550	*
btcus_fd_12	-0,00182850	0,00282205	-0,6479	0,5170	
btcus_fd_13	0,00421927	0,00282248	1,495	0,1349	
btcus_fd_14	-0,00513750	0,00282373	-1,819	0,0689	*
btcus_fd_15	4,83317e-05	0,00282475	0,01711	0,9863	
btcus_fd_16	-0,00791173	0,00282543	-2,800	0,0051	***
btcus_fd_17	0,00711145	0,00282585	2,517	0,0119	**
btcus_fd_18	-0,00202776	0,00282584	-0,7176	0,4730	
btcus_fd_19	0,00164450	0,00282602	0,5819	0,5606	
btcus_fd_20	-0,00676565	0,00282620	-2,394	0,0167	**
btcus_fd_21	-0,00102906	0,00282607	-0,3641	0,7158	

btcus_fd_22	0,000852663	0,00282614	0,3017	0,7629	
btcus_fd_23	0,00553581	0,00282618	1,959	0,0501	*
btcus_fd_24	0,00552510	0,00282663	1,955	0,0506	*
btcus_fd_25	0,00499746	0,00282681	1,768	0,0771	*
btcus_fd_26	0,00883734	0,00282703	3,126	0,0018	***
btcus_fd_27	-0,000224456	0,00282688	-0,07940	0,9367	
btcus_fd_28	-0,00306240	0,00282649	-1,083	0,2786	
btcus_fd_29	-0,00223974	0,00282579	-0,7926	0,4280	
btcus_fd_30	0,0120043	0,00282482	4,250	<0,0001	***
btcus_fd_31	0,00435335	0,00282402	1,542	0,1232	
btcus_fd_32	-0,00527236	0,00282371	-1,867	0,0619	*
btcus_fd_33	-0,00370159	0,00282288	-1,311	0,1898	
btcus_fd_34	-0,00524313	0,00282242	-1,858	0,0632	*
btcus_fd_35	-0,00829678	0,00282039	-2,942	0,0033	***
btcus_fd_36	-0,0105441	0,00281661	-3,744	0,0002	***

Média var. dependente	0,004588	D.P. var. dependente	30,34523
Soma resíd. quadrados	1,19e+08	E.P. da regressão	30,31040
R-quadrado	0,002849	R-quadrado ajustado	0,002294
F(72, 129310)	5,131392	valor P(F)	1,79e-41
rho	0,000043	Durbin-Watson	1,999912

Testes-F com zero restrições:

Todos os desfasamentos de btcbr_fd	F(36, 129310) = 2,7686 [0,0000]
Todos os desfasamentos de btcus_fd	F(36, 129310) = 7,7528 [0,0000]
Todas as variáveis, desfasamento 36	F(2, 129310) = 7,733 [0,0004]

Para o sistema como um todo

Hipótese nula: o maior desfasamento é 35

Hipótese alternativa: o maior desfasamento é 36

Teste de razões de verosimilhanças: Qui-quadrado(4) = 33,095 [0,0000]

Tabela 9: Defasamentos VAR

Sistema VAR, máximo grau de desfasamento 36

Os asteriscos abaixo indicam os melhores (isto é, minimizados) valores dos respectivos critérios de informação. AIC = critério de Akaike, BIC = critério Bayesiano de Schwarz, e HQC = critério de Hannan-Quinn.

desfasamentos	log. da verosimilhança	p(LR)	AIC	BIC	HQC
1-1475086,39367		22,801951	22,802404	22,802087	
2-1474099,82606	0,00000	22,786762	22,787517	22,786989	
3-1473775,78248	0,00000	22,781815	22,782872	22,782132	
4-1473584,59856	0,00000	22,778921	22,780281	22,779329	
5-1473421,95372	0,00000	22,776469	22,778131	22,776968	
6-1473284,73769	0,00000	22,774410	22,776373	22,774999	
7-1473231,79973	0,00000	22,773653	22,775919	22,774333	

8-1473163,28291	0,00000	22,772656	22,775224	22,773426
9-1473118,05733	0,00000	22,772019	22,774888	22,772880
10-1473070,37419	0,00000	22,771344	22,774515	22,772295
11-1473040,78243	0,00000	22,770948	22,774422	22,771990
12-1473027,71144	0,00003	22,770808	22,774584	22,771941
13-1472973,88490	0,00000	22,770038	22,774115	22,771261
14-1472935,18897	0,00000	22,769501	22,773881	22,770815
15-1472907,98080	0,00000	22,769142	22,773824	22,770547
16-1472876,93258	0,00000	22,768724	22,773708*	22,770220
17-1472871,38972	0,02562	22,768701	22,773987	22,770286
18-1472862,68894	0,00161	22,768628	22,774216	22,770304
19-1472847,54752	0,00000	22,768456	22,774346	22,770223
20-1472834,81205	0,00004	22,768321	22,774513	22,770178
21-1472826,45657	0,00220	22,768253	22,774748	22,770202
22-1472816,77501	0,00067	22,768165	22,774962	22,770204
23-1472796,39190	0,00000	22,767912	22,775011	22,770042
24-1472778,60278	0,00000	22,767699	22,775100	22,769919
25-1472762,69163	0,00000	22,767515	22,775218	22,769826*
26-1472754,42487	0,00238	22,767449	22,775454	22,769850
27-1472750,87922	0,13114	22,767456	22,775763	22,769948
28-1472748,92697	0,41908	22,767488	22,776097	22,770070
29-1472748,39332	0,89943	22,767541	22,776452	22,770215
30-1472737,02823	0,00014	22,767427	22,776640	22,770191
31-1472734,21117	0,22819	22,767446	22,776961	22,770300
32-1472730,02561	0,07889	22,767443	22,777260	22,770388
33-1472726,47330	0,13046	22,767450	22,777569	22,770486
34-1472718,65546	0,00355	22,767391	22,777812	22,770517
35-1472706,87572	0,00010	22,767270	22,777994	22,770487
36-1472690,32822	0,00000	22,767076*	22,778102	22,770384

Tabela 10: Teste de Coitegração Granjer

Passo 1: teste para uma raiz unitária em btc_usa

Teste Aumentado de Dickey-Fuller para btc_usa
incluindo 36 defasagens de $(1-L) \text{btc_usa}$
tamanho da amostra: 129383
hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)*y(-1) + \dots + e$
valor estimado de $(a - 1)$: $-4,8496e-005$
estatística de teste: $\text{tau_c}(1) = -1,72264$
p-valor assintótico $0,4198$
coeficiente de 1ª ordem para e: $0,000$
diferenças defasadas: $F(36, 129345) = 7,476 [0,0000]$

Passo 2: teste para uma raiz unitária em btc_br

Teste Aumentado de Dickey-Fuller para btc_br
 incluindo 36 defasagens de (1-L)btc_br
 tamanho da amostra: 129383
 hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

teste com constante
 modelo: $(1-L)y = b_0 + (a-1)y(-1) + \dots + e$
 valor estimado de $(a - 1)$: $-6,96564e-005$
 estatística de teste: $\tau_c(1) = -1,65366$
 p-valor assintótico 0,455
 coeficiente de 1ª ordem para e: 0,000
 diferenças defasadas: $F(36, 129345) = 285,134 [0,0000]$

Passo 3: regressão de cointegração

Regressão de cointegração -
 MQO, usando as observações 1-129420
 Variável dependente: btc_usa

	coeficiente	erro padrão	razão-t	p-valor	
const	1298,87	5,86511	221,5	0,0000	***
btc_br	0,259637	0,000131174	1979	0,0000	***
Média var. dependente	12527,68	D.P. var. dependente	2995,055		
Soma resíd. quadrados	3,71e+10	E.P. da regressão	535,5831		
R-quadrado	0,968023	R-quadrado ajustado	0,968023		
Log da verossimilhança	-996830,0	Critério de Akaike	1993664		
Critério de Schwarz	1993683	Critério Hannan-Quinn	1993670		
rô	0,994694	Durbin-Watson	0,010546		

Passo 4: teste para uma raiz unitária em uhat

Teste Aumentado de Dickey-Fuller para uhat
 incluindo 36 defasagens de (1-L)uhat
 tamanho da amostra: 129383
 hipótese nula de raiz unitária: $a = 1$

modelo: $(1-L)y = (a-1)y(-1) + \dots + e$
 valor estimado de $(a - 1)$: $-0,00248712$
 estatística de teste: $\tau_c(2) = -8,86722$
 p-valor assintótico $1,346e-014$
 coeficiente de 1ª ordem para e: $-0,000$
 diferenças defasadas: $F(36, 129346) = 241,349 [0,0000]$

Existe evidência de uma relação de cointegração se:

- (a) A hipótese de raiz unitária não é rejeitada para as variáveis individuais e;
 (b) A hipótese de raiz unitária é rejeitada para os resíduos (uhat) da regressão de cointegração.

Tabela 11: MQO, variável dependente BTC_EUA

Modelo 2: Mínimos Quadrados (OLS), usando as observações 3-129420 (T = 129418)

Variável dependente: d_btc_usa

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>rácio-t</i>	<i>valor p</i>	
d_btc_br_1	-1,74732e-05	0,000472296	-0,03700	0,9705	
e1_1	2,68775e-08	1,51041e-07	0,1779	0,8588	
d_btc_usa_1	-0,0252856	0,00277936	-9,098	<0,0001	***
Média var. dependente	0,003632		D.P. var. dependente	30,34238	
Soma resíd. quadrados	1,19e+08		E.P. da regressão	30,33290	
R-quadr. não-centrado	0,000640		R-quadrado centrado	0,000640	
F(3, 129415)	27,62356		valor P(F)	7,53e-18	
Log. da verosimilhança	-625239,0		Critério de Akaike	1250484	
Critério de Schwarz	1250513		Critério Hannan-Quinn	1250493	
rho	-0,000391		h de Durbin	-8,555985	

Tabela 12: MQO, variável dependente BTC_BRL

Modelo 4: Mínimos Quadrados (OLS), usando as observações 3-129420 (T = 129418)

Variável dependente: d_btc_br

	<i>Coeficiente</i>	<i>Erro Padrão</i>	<i>rácio-t</i>	<i>valor p</i>	
d_btc_usa_1	0,359070	0,0158122	22,71	<0,0001	***
e2_1	-2,06116e-07	5,94663e-08	-3,466	0,0005	***
d_btc_br_1	-0,250205	0,00268687	-93,12	<0,0001	***
Média var. dependente	-0,033336		D.P. var. dependente	178,5498	
Soma resíd. quadrados	3,85e+09		E.P. da regressão	172,5621	
R-quadr. não-centrado	0,065960		R-quadrado centrado	0,065960	
F(3, 129415)	3046,354		valor P(F)	0,000000	
Log. da verosimilhança	-850235,4		Critério de Akaike	1700477	
Critério de Schwarz	1700506		Critério Hannan-Quinn	1700486	
rho	-0,028680		h de Durbin	-40,25458	