

## **ARBITRAGEM E QUEBRA ESTRUTURAL NOS SPREADS DOS PREÇOS DOS ÍNDICES DE MINÉRIO DE FERRO 62% PLATTS E TSI**

**DIEGO ROSINI PALMA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)  
diegorosini@gmail.com

**PAMELA CAROLINA MENDES GOMES GASPAR BOTREL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)  
pamela.botrel@hotmail.com

**JUCILAINE APARECIDA DE ANDRADE**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)  
anterflip@ig.com.br

**ROBERT ALDO IQUIAPAZA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS (UFMG)  
riquiapaza@gmail.com

## **Introdução**

Durante décadas adotou-se o preço anual de benchmark no mercado de minério de ferro. Na década de 2000 houve crescimento do consumo de minério de ferro por parte das siderúrgicas chinesas. As siderúrgicas realizaram operações de arbitragem entre os preços spot e anual. Assim, as empresas Vale, BHP Billiton e Rio Tinto aboliram o uso do sistema anual de precificação em 2010. A precificação, a partir de então, foi o vínculo dos contratos a revisões trimestrais, baseadas nos preços do mercado spot. Com a ampliação do número de participantes no mercado, a eficiência de mercado ganhou relevância.

## **Problema de Pesquisa e Objetivo**

O ingresso de participantes no mercado de minério de ferro levou ao surgimento de índices de preço que refletissem as negociações. Existem ao menos quatro índices de preço do minério de ferro com teor de ferro contido de 62%: Platts, TSI (The Steel Index), MBI (Metal Bulletin) e Argus. O objetivo foi analisar se existe a possibilidade de arbitragem entre os índices Platts e TSI. Em seguida, foi analisado o spread entre os índices durante o período considerado, para verificar a existência de mudança estrutural ao longo do tempo.

## **Fundamentação Teórica**

Estudos do spread entre diferentes índices são recorrentes no mercado de petróleo, como o realizado por Chen, Huang e Yi (2015). Segundo os autores, espera-se comportamento estacionário do spread entre os índices, caso contrário há motivo para investigação de quebra estrutural. Já, Wårell (2014) analisou a existência de uma alteração significativa nos preços do minério após uma alteração no regime de preços praticado pelos maiores produtores mundiais. Ma (2013) analisou a relação entre uma possível modificação na volatilidade dos preços do minério e a alteração no seu regime de precificação.

## **Metodologia**

Foram utilizadas cotações diárias dos índices Platts e TSI no período entre 01/06/2009 e 30/06/2016. Para verificar a possibilidade de arbitragem foi aplicado o teste t pareado para o módulo das diferenças do log-retorno entre o preço desses índices. E, para verificar a existência de mudança estrutural nos spreads, foi adotada a metodologia de Chen et al. (2015), que consiste em calcular os spreads e identificar a quebra estrutural, através dos testes CUSUM quadrático e os testes de raiz unitária, ADF e Philips Perron.

## **Análise dos Resultados**

Através do teste t foi possível identificar que existe a possibilidade de arbitragem entre as séries, já que o p-valor foi inferior ao nível de significância de 5%, logo, a média dos spreads é estatisticamente diferente de zero. Através do gráfico CUSUM verificou-se a existência de quebra estrutural. No entanto, por meio dos testes de raiz unitária verificou-se que a amostra total e as subamostras são estacionárias o que segundo Chen et al. (2015) identifica que não há uma mudança na persistência.

## **Conclusão**

Espera-se que os resultados sirvam de apoio à tomada de decisões dos participantes no mercado de minério de ferro. Como limitação está a impossibilidade de coletar dados intradiários, já que é esperado que em séries com dados intradiários haja uma possibilidade maior de ganhos com a arbitragem. Estudos futuros poderiam avaliar a forma de eficiência desse mercado, conforme classificação proposta por Fama (1970), já que a quebra estrutural não foi confirmada pelos testes de raiz unitária.

## **Referências Bibliográficas**

- CHEN, W.; HUANG, Z.; YI, Y. Is there a structural change in the persistence of WTI-Brent oil price spreads in the post-2010 period? *Economic Modelling*, v.50, p.64-71, 2015.
- FAMA, E. F. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, v.25, n.2, p. 383-417, 1970.
- MA, Y. Iron ore spot price volatility and change in forward price mechanism, *Resources Policy*, v.38, p.621-627, 2013.
- WÅRELL, L. The effect of a change in price regime on iron ore prices, *Resources Policy*, v.41, p.16-22, 2014.

# ARBITRAGEM E QUEBRA ESTRUTURAL NOS *SPREADS* DOS PREÇOS DOS ÍNDICES DE MINÉRIO DE FERRO 62% PLATTS E TSI

## 1 INTRODUÇÃO

Durante décadas, o mercado de minério de ferro foi caracterizado pela negociação direta entre grandes mineradores, responsáveis por parcela significativa da oferta, e grupos siderúrgicos, que representavam os maiores consumidores das principais regiões produtoras de aço do mundo. O resultado dessas negociações era o preço de *benchmark* a ser adotado durante um ano. Esta base de negociação servia como fator estabilizador do mercado, dada a dependência do consumo de minério de ferro e do crescimento do PIB (WÅRELL, 2014).

No final da década de 2000, o crescimento acelerado do consumo de minério de ferro por parte das siderúrgicas chinesas provocou a contestação desta dinâmica de mercado, por não refletir rapidamente os movimentos de oferta e demanda (MA, 2013). A ascensão da China como maior produtor mundial de aço foi responsável pelo deslocamento do centro produtor para a Ásia e redução do poder de negociação dos produtores europeus, favoráveis a manutenção do sistema *benchmark* (BIELITZA, 2012). Com menor vínculo a contratos de longo prazo de fornecimento, restrição na disponibilidade de minério de ferro e a existência de mecanismos de preço de base temporal diferentes, as siderúrgicas chinesas realizaram operações de arbitragem entre os preços *spot* e anual.

Como reação a estas operações de arbitragem, as empresas Vale, BHP Billiton e Rio Tinto, que detinham a época mais de 30% da produção mundial e 58% do mercado transoceânico, aboliram o uso do sistema anual de precificação em 2010. A opção de precificação, a partir deste ano, foi o vínculo dos contratos a revisões trimestrais, baseadas nos preços do mercado *spot* (BIELITZA, 2012; WÅRELL, 2014). Isso significou, na prática, a formalização do mecanismo de precificação com intervalos menores de tempo, já aplicado à época nas vendas no mercado *spot*, que se concentravam na China. Prova desta modificação de mercado foi o fato de que, em 2009, BHP Billiton e Rio Tinto venderam quase metade da produção no mercado *spot* (MA, 2013).

Entre as consequências da mudança de regime de precificação, está o aumento do impulso para transformação do mercado de minério de ferro em mercado financeiro. Isso representa a continuação de movimentos ocorridos com o petróleo na década de 1980, com diversas *commodities* na década de 1990 e com o carvão no início dos anos 2000. O primeiro contrato de balcão (*over the counter swap - OTC*) para o minério de ferro foi lançado pelos bancos Deutsche Bank e Credit Suisse (BIELITZA, 2012). Em teoria, esta mudança no mercado traria como resultado maior estabilidade de preço, o que beneficiaria tanto produtores quanto consumidores (AREZKI, LOUNGANI e VAN DER PLOEG, 2014). Com a ampliação do número de participantes no mercado, não mais restrito a produtores e consumidores, a eficiência do mercado passou a ganhar relevância. Chowdury (1991) afirma que a existência de um mercado eficiente é importante para que os participantes tomem decisões acerca de suas posições para mitigação de risco sobre o preço dos produtos.

O ingresso de participantes no mercado além dos produtores e consumidores levou ao surgimento de índices de preço que refletissem as negociações realizadas. Atualmente existem ao menos quatro índices de preço do minério de ferro que utilizam o teor de ferro contido de 62% como referência (Platts IODEX, The Steel Index (TSI), Metal Bulletin (MBOI) e Argus), sem que algum deles possua dominância (BIELITZA, 2012). Esta é uma anomalia em

relação à história dos mercados futuros, cujos registros apontam que dois contratos que negociam produtos iguais ou muito parecidos não podem coexistir no longo prazo (MILONAS e HENKER, 2001). Quando este fenômeno ocorre, o contrato mais líquido gradualmente atrai um número maior de investidores, até que os demais tenham sua negociação interrompida. Segundo Milonas e Henker (2001) este efeito é gradual devido ao fato que, enquanto houver benefício marginal na transação de um contrato de menor liquidez em relação àquele negociado em outro local, esse contrato existirá.

Diferentemente da negociação de ativos financeiros, existe maior dificuldade na realização de operações de arbitragem pura nos mercados de produtos físicos, em virtude de fatores como custos de transporte e armazenagem, movimentos sazonais, níveis de estoques e diferença nos horários de funcionamento das bolsas de futuros (MILONAS e HENKER, 2001). Adicionalmente, movimentos de mercado são contidos pela ancoragem dos preços nos fundamentos do mercado físico do produto em negociação (FATTOUH, 2011). Diferentemente de *commodities* com instrumentos financeiros mais consolidados, a existência de contratos futuros vinculados a diferentes índices negociados na mesma bolsa permite a realização de operações de arbitragem durante todo o período de negociação.

Nesse contexto, o presente trabalho buscou analisar, primeiramente, se existe a possibilidade de arbitragem entre os índices Platts IODEX 62% e TSI 62%, ambos negociados na forma de contratos futuros na *Singapore Mercantile Exchange* (SGX). Em seguida, foi analisado o *spread* entre os índices durante o período de análise, para verificar a existência de mudança estrutural ao longo do tempo analisado.

A partir desta seção, o artigo está estruturado a seguir da seguinte forma, na segunda seção é abordado o referencial teórico; na terceira seção será descrita a metodologia para se alcançar os objetivos propostos; na quarta seção são apresentados os resultados obtidos nesse estudo e; por fim, a quinta seção apresenta as considerações finais acerca da pesquisa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A *commodity* pode ser definida como um tipo de produto em que não há diferenças qualitativas entre os mercados que são negociados, de modo que não existe preferência, em termos de qualidade, por parte dos compradores do produto (PEREIRA, 2009). No entanto, Copeland e Weston (1988) afirmam que podem existir pequenas diferenças de qualidade entre cada lote negociado, as quais devem estar dentro dos limites aceitáveis e previamente especificadas nos contratos de fornecimento. Estes autores sugerem que a padronização da *commodity* permite a execução de maior número de negociações, permitindo a liquidez desse mercado, e assim, a inserção dessas mercadorias em mercados organizados, como as bolsas de valores.

Uma possível adoção de regimes de preços distintos para a mesma *commodity* padronizada traz à tona a discussão sobre a eficiência do mercado, discutida com maior ênfase a partir da década de 1970, com o estudo desenvolvido por Fama (1970). Esse autor aponta que se os mercados são eficientes não seria possível obter retornos superiores, uma vez que todas as informações estão refletidas nos preços. Ele abordou três tipos de eficiência, sendo estas: (i) a forma fraca, onde todas as informações de preços passados estariam refletidas no preço atual; (ii) a forma semi-forte, a qual aponta que além das informações de preços passados todas as informações públicas também estariam refletidas no preço, e; (iii) a forma forte, em que também estariam refletidas no preço todas as informações públicas disponíveis. Com isso, não seria possível realizar arbitragens nos mercados eficientes.

Nesse contexto, Chiara *et al.* (2012) buscaram identificar a existência de oportunidades de arbitragem entre ações de empresas cotadas na BOVESPA e suas ADRs negociadas na NYSE. Para isso eles realizaram o teste t para verificar se o módulo das diferenças de preços em reais das ações locais e suas ADRs eram em média estatisticamente iguais a zero. Além disso, calcularam qual seria o custo máximo de operação para que essa estratégia se mantivesse rentável. Os autores concluíram que a estratégia pode gerar lucros financeiros e que em ações com menor liquidez, o custo máximo para que a estratégia se mantivesse lucrativa era superior.

Wårell (2014) analisou a possibilidade de existência de uma alteração significativa nos preços do minério de ferro após uma alteração no regime de preços praticado pelos maiores produtores mundiais. Até o final de 2009, a negociação no mercado de minério de ferro ocorria por meio de um preço anual de referência que estabilizaria o mercado. Porém, a partir daquele ano uma alteração no regime de preços passou a considerar o preço trimestral de referência, influenciado pelo preço do mercado *spot* do trimestre anterior. Ma (2013) verificou que essa alteração decorreu do fato do regime de preços anterior, de base anual, ser rígido demais para reflexão, no tempo adequado, das mudanças no comportamento de oferta e demanda no mercado real. De acordo com Wårell (2014), após essa alteração, o regime tornou-se menos transparente do que antes, dificultando a tomada de decisões.

Os índices Platts IODEX e *The Steel Index* (TSI) possuem contratos futuros vinculados negociados em bolsas de futuros, com destaque para a *Singapore Mercantile Exchange* (SGX). O principal índice de referência de preço para o minério de ferro possui como base o teor de ferro contido de 62%. A heterogeneidade dos produtos entregues no mercado a vista se reflete nas metodologias utilizadas para formação de precificação do minério de ferro. No guia metodológico e de especificações do minério de ferro da Platts (2015), é visto que o preço diário é formado a partir da normalização das negociações realizadas durante o dia para minérios entre 60% e 63,5% de ferro contido, com entrega prevista entre duas e oito semanas em relação à data de negociação. Já o índice TSI 62% utiliza a normalização de negociações efetuadas para minérios entre 60,01% e 66,49% de ferro contido, com entrega prevista para até oito semanas a partir da transação (THE STEEL INDEX, 2016). Desta forma, os índices denominados *spot* podem ser parcialmente considerados, em termos metodológicos, como índices a termo (*forward*).

Estudos do *spread* entre diferentes índices de uma mesma *commodity* são recorrentes no mercado de petróleo. Neste mercado, existem dois índices predominantes - *West Texas Intermediate* (WTI) e *Brent* - e o estudo acadêmico do *spread* entre estes índices ganhou notoriedade no meio acadêmico com as variações ocorridas a partir de 2010, resultado das restrições logísticas ocorridas em Cushing, Oklahoma (BÜYÜKSAHİN *et al.* 2013; CHEN, HUANG e YI, 2015), que afetaram negativamente o índice WTI. Já o índice Brent foi influenciado de forma positiva por uma série de eventos, como o aumento de sua participação em índices de *commodities* publicados nos Estados Unidos, a Primavera Árabe de 2010 e o acidente na usina nuclear de Fukushima, que aumentaram a demanda transoceânica de petróleo fora dos Estados Unidos. Chen, Huang e Yi (2015), verificaram que o *spread* entre os índices raramente ultrapassou 5 USD/barril até 2010, aumentando significativamente após este período, o que trouxe implicações significativas para todas as nações exportadoras de petróleo para os Estados Unidos. A partir destes fatores, os autores identificaram a existência de quebra estrutural na série temporal de *spread* WTI-Brent em 2010.

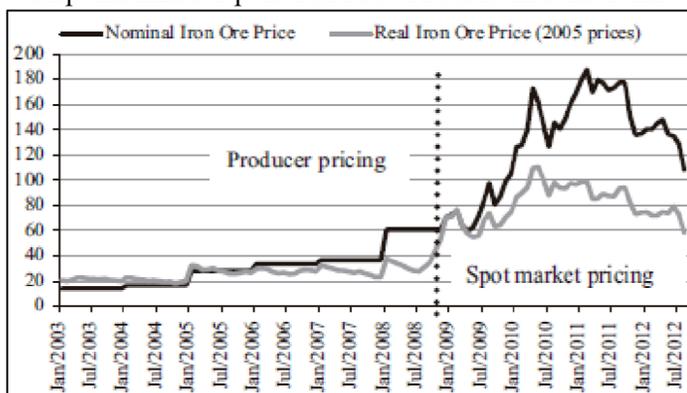
Acharya, Lochstoer e Damodara (2013) testaram os limites de *hedge* dos produtores de *commodities* aferidos quando os especuladores possuem restrições quanto à alocação de

recursos nos mercados futuros. Esta limitação de tomada de risco traz consequências negativas aos produtores, impactando os preços dos produtos. Estas limitações foram encontradas no estudo de Büyüksahin *et al.* (2013) sob a forma de maiores restrições às posições especulativas no mercado de derivativos de petróleo nos Estados Unidos em virtude do Dodd-Frank Act, contribuindo para o aumento do *spread* entre os índices WTI e Brent.

Séries temporais de preços de *commodities* geralmente tem caráter não estacionário (CHOWDURY, 1991). No entanto, é esperado comportamento estacionário para o *spread* entre os índices (CHEN, HUANG e YI, 2015), sendo uma alteração neste comportamento motivo para investigação de quebra estrutural na série. Fattouh (2011) afirma que estas divergências revelam as falhas do índice WTI como referência para o mercado de petróleo.

O gráfico 1 demonstra que após a inserção do regime de mercado *spot* sobre o preço do minério de ferro (62 % Fe spot CFR Tianjin port) houve maior instabilidade nos preços, bem como uma tendência de ascendência dos mesmos (WÅRELL, 2014). Contudo, Wårell não conseguiu imputar essas modificações nas tendências dos preços à alteração de regime de apreamento, tendo em vista que houve também crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) na China – sendo esse um fator essencial para influenciar no preço. Por outro lado, também houve um aumento considerável no custo do transporte do minério de ferro.

**Gráfico 1:** Preço do minério de ferro em US\$ por métrica, 2003 – 2012, com dados disponibilizados pelo Fundo Monetário Internacional.



**Fonte:** Warell (2014)

Ma (2013) também analisou a relação entre uma possível modificação na volatilidade dos preços do minério de ferro e a alteração no regime de precificação do minério de ferro, no entanto, utilizou uma abordagem diferente de Warell (2014). O método empírico empregado se baseou nos modelos de volatilidade condicional EGARCH, a partir do qual se verificou que a implementação do modelo trimestral de precificação aliviou a volatilidade do preço *spot* do minério de ferro. Ademais, “a curva de impacto sugere que apenas os choques negativos têm um efeito gradual na volatilidade do preço *spot* do minério de ferro” (MA, 2013, p.627). Ou seja, espera-se uma alta na volatilidade quando ocorrerem choques negativos.

Os estudos sobre o preço do minério de ferro se concentram na análise da volatilidade, especialmente após a mudança do mecanismo de precificação. Wårell (2014) concluiu, após análise dos preços entre janeiro de 2003 e agosto de 2012, que não existem evidências de que a volatilidade dos preços aumentou com a mudança do mecanismo de precificação para marcação a mercado. Esta conclusão se baseou principalmente no aumento dos custos de transporte transoceânico entre 2007 e 2008, antes da mudança de regime. Ma (2013), utilizando o modelo EGARCH sobre os preços entre 7 de outubro de 2008 e 21 de setembro

de 2012, concluiu que a implantação do modelo trimestral de precificação reduziu a volatilidade dos preços no mercado a vista e que a alta volatilidade é esperada apenas na presença de choques negativos. Existem, no entanto, diferenças entre os índices de referência utilizados por cada autor. Enquanto Wårell (2014) utilizou a série de preços disponibilizada pelo Fundo Monetário Internacional (FMI), Ma (2013) toma como base o índice Platts IODEX.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Amostra

Para realização dos procedimentos estatísticos foram utilizadas as cotações diárias dos índices Platts IODEX 62% e TSI 62% no período entre 01/06/2009 e 30/06/2016, obtidas no website [www.platts.com](http://www.platts.com). Foram excluídas da amostra as cotações dos dias onde a cotação de apenas um índice estava disponível, resultando em 1.755 observações para cada um dos índices sob análise. Toda modelagem estatística foi realizada através do *software* R.

#### 3.2 Procedimentos Estatísticos

Para verificar a existência da possibilidade de arbitragem foi aplicada inicialmente a metodologia aplicada por Chiara *et al.*(2012), a qual consiste na aplicação do teste t para médias dos preços das duas amostras pareadas ao nível de significância de 5%. Esse teste avalia se duas amostras provenientes de duas populações subjacentes possuem a mesma média, considerando para isso, dados emparelhados, uma vez que cada par de observações refere-se a uma mesma data. A hipótese nula ( $H_0$ ) do teste t considera que as médias das duas séries são iguais, e a hipótese alternativa ( $H_1$ ) que as médias das duas séries são diferentes. Nesse caso, a possibilidade de arbitragem é verificada se as médias das duas séries são estatisticamente distintas. Para a realização do teste, utilizou-se o módulo das diferenças do log-retorno entre o preço do índice PLATTS e TSI, como na equação abaixo:

$$Mod. spread\% = \left| \ln \left( \frac{PLATTS_t}{TSI_t} \right) \right|$$

Equação 1

Onde:

*Mod. spread%*: Diferença percentual entre o preço do índice Platts e o índice TSI no dia t;

*PLATTS<sub>t</sub>*: Preço do Índice de Minério de Ferro 62% Platts no dia t, expresso em dólares;

*TSI<sub>t</sub>*: Preço do Índice de Minério de Ferro 62% TSI no dia t, expresso em dólares.

Quanto ao segundo objetivo, verificar a existência de uma mudança estrutural nos *spreads* dos índices do minério de ferro 62% Platts e TSI, foi adotada a metodologia utilizada por Chen, Huang e Yi (2015), os quais buscaram identificar a existência de uma mudança estrutural na persistência dos *spreads* dos preços do petróleo WTI e Brent. Para isso, foram realizados os seguintes procedimentos:

- 1) Cálculo do *Spread*: diferença entre o preço do índice PLATTS e TSI.

$$Spread = PLATTS_t - TSI_t$$

Equação 2

- 2) Identificação do ponto da mudança estrutural, para obter as subamostras. Conforme Chen, Huang e Yi (2015) se esse ponto de quebra é conhecido pode-se aplicar os testes de raiz unitária nas subamostras e assim verificar se a persistência em cada série temporal. No entanto, eles apontam que não é garantido assumir a data da quebra previamente. Para encontrar esse ponto os autores utilizaram o teste CUSUM baseado nos quadrados, e os estimadores dados por Leybourne *et al.* (2007b) e Buseti e Taylor (2004). O presente trabalho identifica esse ponto de quebra previamente no dia 8 de abril de 2013, data em que foram iniciadas as negociações em bolsa dos contratos futuros do minério de ferro.
- 3) Aplicação do teste CUSUM baseado nos quadrados dos *spreads*, para identificar a existência de quebra estrutural. Se a quebra é identificada, a data estabelecida previamente é utilizada para gerar as subamostras, e checar se houve uma mudança de persistência na série ou não. Essa mudança é identificada por meio dos testes de raiz unitária, uma vez que é identificada para a primeira subamostra uma série estacionária e para a segunda esse comportamento é alterado, ou seja, identifica-se uma série não estacionária, tem-se uma alteração na persistência dos *spreads*; caso, esse padrão não se altere não há mudança na persistência da série.
- 4) Portanto, é verificado se ambas as subamostras apresentam estacionariedade através dos testes de ADF e Phillips Perron.

Por fim, será verificado se a subamostra 2 apresenta ainda possibilidade de arbitragem aplicando-se novamente o teste t para a série dos *spreads*.

#### 4 RESULTADOS

Inicialmente foram calculadas as estatísticas descritivas para as séries de preços e para o *spread* das subamostras e da amostra total, considerando que as subamostras foram divididas no dia 08 de abril de 2013, devido ao início das negociações dos contratos futuros de minério de ferro em bolsa.

É possível verificar através da tabela 1 que as séries de preços apresentam média e mediana próximas e diferem em USD 1,5 e USD 1,1 com relação aos preços mínimo e máximo, respectivamente. Já, a média do *spread* é superior a zero, possuindo máximo de USD 8,1 e mínimo de USD 10,7, que representa que o preço da série do TSI superou o preço da série PLATTS em 10,7 dólares em determinado dia. O desvio padrão da série foi de 1,4 dólares. Para a série identificada como pós-quebra a média ficou abaixo da média total, o que pode ser um indício de que com a alteração das negociações para a bolsa, o mercado tende a ser mais eficiente, gerando menor margem de divergências entre os índices. Tal fato também pode ser identificado por meio do desvio padrão o que é menos que a metade na subamostra 2 comparado com a subamostra 1.

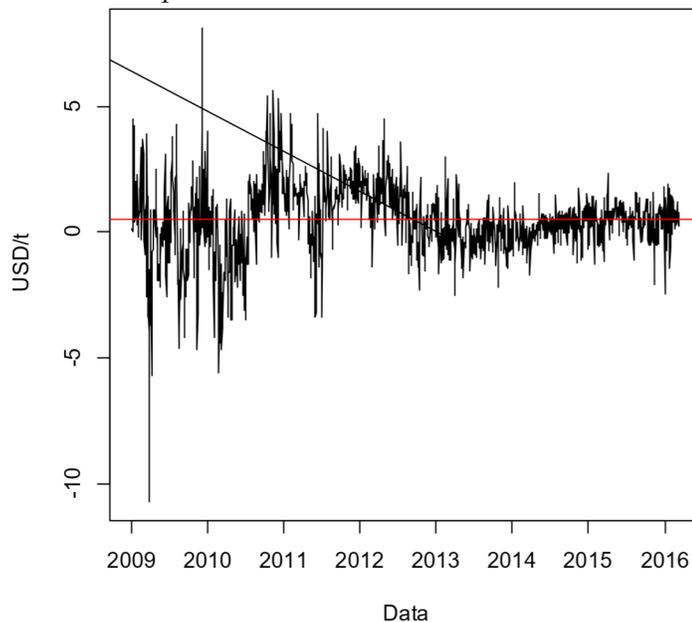
**Tabela 1** – Estatísticas Descritivas das séries PLATTS 62% e TSI 62% e do *spread*

Estatísticas	PLATTS	TSI	Spread	Spread 01/06/09-07/04/13	Spread 08/04/13-30/06/16
Nº obs	1755	1755	1755	944	811
Média	114,17	113,69	0,48	0,72	0,21
Desvio Padrão	41,57	41,38	1,4	1,76	0,69
Mediana	122	122	0,5	0,95	0,3
Mínimo	38,5	37	-10,7	-10,7	-2,5
Máximo	193	191,9	8,1	8,1	3
Assimetria	-0,15	-0,17	-0,46	-0,74	-0,37
Curtose	-1,09	-1,1	4,48	2,68	1,03
Erro Padrão	0,99	0,99	0,03	0,06	0,02

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

O gráfico 2 mostra o *spread* entre os índices da amostra utilizada, e a linha vermelha representa a média dos *spreads*. Verifica-se que a volatilidade no início da série é bem mais elevada, e pode caracterizar uma mudança estrutural na presente série.

**Gráfico 2** – *Spread* entre as séries PLATTS 62% e TSI 62%



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Como primeiro objetivo deseja-se identificar a possibilidade de arbitragem entre os índices PLATTS e TSI, para isso foi realizado o teste t pareado para identificar a diferença de médias. Esse teste é apresentado na tabela 2, e por meio dele foi possível identificar que existe a possibilidade de arbitragem entre as séries, uma vez que o p-valor foi inferior ao nível de significância de 5%, logo, a hipótese nula é rejeitada e a média dos *spreads* é estatisticamente diferente de zero.

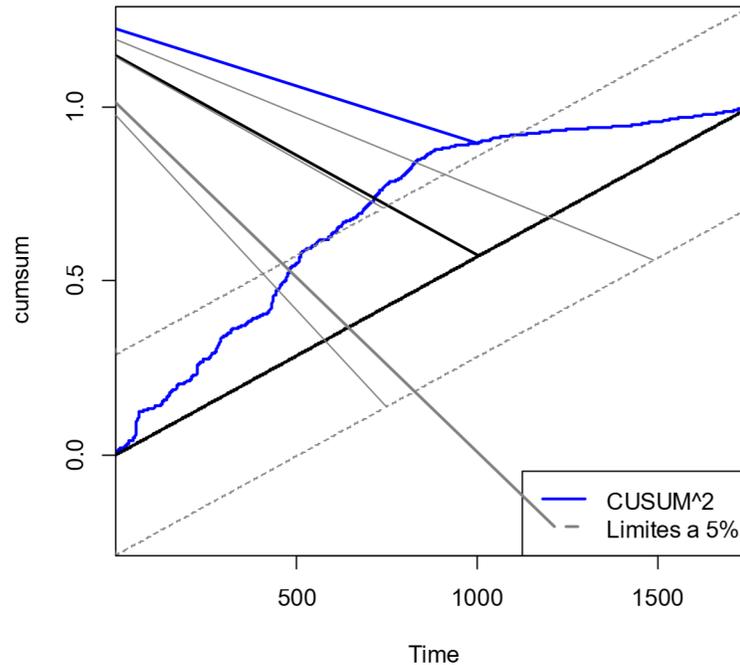
**Tabela 2** – Resultado teste t do módulo dos *spreads* percentuais

<b>Estatística t</b>	47,866
<b>df</b>	1754
<b>p-valor</b>	2,20E-16

**Fonte:** Elaborado pelos autores

Em seguida buscou-se verificar a existência de quebra estrutural. Para isso, foram realizados o teste CUSUM quadrático, isto é, a soma acumulada dos *spreads* ao quadrado. Desse modo, é gerado o gráfico 3, o qual aponta a existência da quebra estrutural, ao final de 2012 meados de 2013. Como o gráfico apresenta esse intervalo temporal para essa quebra, a amostra foi dividida no dia 08/04/2013, uma vez que nessa data iniciaram-se as negociações em bolsa dos contratos futuros do minério de ferro, o que justifica a quebra estrutural encontrada.

**Gráfico 3 – CUSUM Quadrático dos *spreads***



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Com isso, as subamostras foram definidas entre o período 01/06/2009 a 07/04/2013 (subamostra 1) e 08/04/2013 a 08/06/2016 (subamostra 2). E, assim foram realizados os teste de raiz unitária em ambas as subamostras para verificar se as mesmas eram consistentes ao longo do tempo e depois foi testada para a subamostra 2 se ainda existe a possibilidade de arbitragem.

**Tabela 3 – Resultado dos testes de raiz unitária para as Subamostras**

Testes	Subamostra 1		Subamostra 2	
	Estatística	P-valor	Estatística	P-valor
ADF	-5,1293	0,01	-7,0473	0,01
PP	-283,97	0,01	-488,68	0,01

**Fonte:** Resultados obtidos no software R

**Tabela 4 – Resultado teste t do módulo dos *spreads* da Subamostra 2 (08/04/2013 a 30/06/2016)**

<b>Estatística t</b>	37,261
<b>df</b>	810
<b>p-valor</b>	2,20E-16

**Fonte:** Resultados obtidos no software R

Através dos resultados apresentados nas tabelas acima verificou-se que as subamostras são estacionárias ao longo do tempo, o que segundo Chen, Huang e Yi (2015) identifica que não há uma mudança da persistência na série. E através da realização do novo teste t para a subamostra 2 encontrou-se que mesmo após a alteração dos contratos de balcão para futuros ainda é existente a possibilidade de arbitragem, demonstrando que o mercado para a negociação de minério de ferro não se encontra em total nível de eficiência.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do trabalho foi inicialmente identificar a presença de arbitragem entre os log-retornos das séries dos preços do minério de ferro 62% Platts IODEX e TSI. Para isso, foi realizado o teste t o qual confirmou que a diferença de média dos *spreads* em módulo das séries era estatisticamente diferente de zero, evidenciando a possibilidade de arbitragem. E, em seguida, buscou-se identificar a existência de quebra estrutural durante o período, a qual pode ser evidenciada pelo gráfico CUSUM.

Diferentemente dos resultados encontrados por Chen, Huang e Wi (2015), os quais identificaram uma mudança na persistência após o ponto de quebra identificado em 2010 para a série dos *spreads* entre os índices WTI e Brent para o petróleo, a série dos *spreads* entre os índices Platts e TSI não apresentaram alteração da persistência, e apesar dos resultados do CUSUM identificarem uma quebra estrutural os resultados dos testes de raiz unitária utilizados, não identificaram tal quebra. Isso aponta que a série deve ser estudada em função da eficiência do mercado de contratos futuros de minério de ferro e consequentemente a arbitragem, já que a quebra não é justificada pelos testes de raiz unitária.

Espera-se que esta pesquisa proporcione melhora na compreensão do funcionamento dos preços de *commodities*, bem como de estratégias internacionais de negociação. E que os resultados encontrados possam servir como diretriz para a tomada de decisões dos participantes do mercado de minério de ferro.

Como limitação a esse estudo está a impossibilidade de coletar dados intradiários, já que é esperado que em séries com dados intradiários haja uma possibilidade maior de ganhos com a arbitragem, uma vez que não é verificada uma eficiência nesse mercado.

Como sugestão para estudos futuros está a incorporação dos custos de transação para avaliar a real viabilidade da arbitragem nesse mercado. Além disso, pode-se ainda avaliar a forma de eficiência desse mercado, conforme a classificação de Fama (1970), para confrontar com os resultados encontrados no presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ACHARYA, V.V.; LOCHSOER, L. A.; RAMADORAI, T. Limits to arbitrage and hedging: Evidence from commodities markets. *Journal of Financial Economics*, v.109, p.441-465, 2013.
- AREZKI, R., LOUNGANI, P., VAN DER PLOEG, R., & Venables, A. J. Understanding international commodity price fluctuations. *Journal of International Money and Finance*, v. 42, p. 1-8, 2014.
- BIELITZA, M.P. *Prospects for the 2020 Iron Ore Market: Quantitative Analysis of Market Dynamics and Risk Mitigation Strategies*. Mering: Rainer Hampp Verlag, 2012.
- BÜYÜKSAHIN, B.; LEE, T. K.; MOSER, J. T.; ROBE, M. A. Physical Markets, Paper Markets and the WTI-Brent Spread. *The Energy Journal*, v.34, n.3, p.129-152, 2013.
- CHEN, W.; HUANG, Z.; YI, Y. Is there a structural change in the persistence of WTI-Brent oil price spreads in the post-2010 period? *Economic Modelling*, v.50, p.64-71, 2015.
- CHOWDURY, A. R. Futures Market Efficiency: Evidence from Cointegration Tests. *The Journal of Futures Markets*, v.11, n.5, p.577-589, 1991.
- CHIARA, M. M.; FERREIRA, R. S.; NUNES, R. M.; dos Reis, Y. A. P. Estratégia de arbitragem entre ações brasileiras e suas ADRs: a resposta dos dados intraday. *Revista Brasileira de Economia de Empresas*, v. 12, n. 2, p. 53-65, 2012.

COPELAND, T. E.; WESTON, J. F. *Financial Theory and corporate policy*. 3rd ed. New York: Addison Wesley, 1988.

FAMA, E. F. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, v.25, n.2, p. 383-417, 1970.

FATTOUH, B., An Anatomy of the Crude Oil Pricing System, *The Oxford Institute for Energy Studies*, 2011.

MA, Y. Iron ore spot price volatility and change in forward price mechanism, *Resources Policy*, v.38, p.621-627, 2013.

MILONAS, N. T.; HENKER, T. Price spread and convenience yield behavior in the international oil market. *Applied Financial Economics*, v.11, p.23-36, 2001.

PEREIRA, L. M. *Modelo de Formação de Preços de Commodities agrícolas Aplicado ao Mercado de Açúcar e Alcool*. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

SEDGMAN, P.; SIM, G. SGX to Introduce Iron Ore Futures as Investors Bet on China, 5 Abr. 2013, Disponível em: <<http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-04-05/sgx-to-introduce-iron-ore-futures-as-investors-wager-on-china>>, Acesso em: 04/07/2016.

THE STEEL INDEX, Methodology and Specifications Guide – Iron Ore, 2016. Disponível em: <[www.thesteelindex.com](http://www.thesteelindex.com)>. Acesso em: 15/06/2015.

WÅRELL, L. The effect of a change in price regime on iron ore prices, *Resources Policy*, v.41, p.16-22, 2014.