



**UNISUL**

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

JULIO FERNANDO COSTA SANTOS

*Pairs trading* – Arbitragem estatística entre pares de ações no mercado acionário brasileiro através do método de cointegração entre 2005 e 2016

Palhoça

2017

JULIO FERNANDO COSTA SANTOS

*Pairs trading* – Arbitragem estatística entre pares de ações no mercado acionário brasileiro através do método de cointegração entre 2006 e 2016

Projeto de pesquisa apresentado ao Curso de graduação em Ciências Econômicas da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Jaílson Coelho, Dr.

Palhoça

2017



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	EXPOSIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA.....	16
1.1.1	<i>Origem .....</i>	<i>16</i>
1.1.2	<i>A estratégia pairs trading .....</i>	<i>16</i>
1.2	OBJETIVOS .....	17
1.2.1	<i>Objetivo geral .....</i>	<i>18</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>18</i>
1.3	JUSTIFICATIVA.....	18
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ANÁLISE DE DADOS.....	18
1.4.1	<i>Base de dados e pré-seleção dos pares.....</i>	<i>19</i>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Gerações de economistas e outros cientistas têm se empenhado durante anos para entender as relações de risco e retorno entre ativos negociados na bolsa de valores. A principal referência é o trabalho de Markowitz (1952). Posteriormente, e influenciado pelo seu trabalho, Sharpe (1964) desenvolveu o modelo denominado *Capital Asset Pricing Model* – CAPM. Anos mais tarde, Fama (1970) propôs a Hipótese dos Mercados Eficientes (HME). Segundo essa hipótese, o mercado seria considerado eficiente se refletisse rapidamente qualquer informação disponível nos preços dos ativos, impossibilitando ganhos anormais. Dessa forma, qualquer tentativa de obter um método que proporcionasse retorno superior ao retorno ajustado ao risco seria inconsistente com a HME.

Todavia, existem diversas estratégias de investimentos em Bolsa de Valores que almejam obter retornos anormais no mercado. Operações compradas são aquelas realizadas quando o investidor compra um ativo acreditando na permanência da tendência de alta no preço do ativo comprado. Operações vendidas são aquelas onde o investidor vende a descoberto um ativo acreditando na permanência da tendência de baixa no preço do ativo vendido. Essas duas podem ser consideradas operações direcionais, pois apostam em alguma tendência na série histórica de preços para a sua obtenção de lucro. No entanto, existem operações conhecidas como Long & Short (Comprado e Vendido) que utilizam a movimentação entre o preço relativo de dois ativos para a obtenção de lucro.

Nesse contexto, em 1980, um grupo de acadêmicos de diversas áreas comandado por Nunzio Tartaglia contratados pelo banco de investimentos Morgan Stanley, buscaram nas ferramentas estatísticas da época uma maneira para encontrar pares de ativos que andassem juntos ao longo do tempo. Essa abordagem utilizava das ferramentas da estatística para encontrar pares que mantivessem ao longo do tempo uma tendência em comum. Essa estratégia fora chamada de *pairs trading* (negociação estatística de pares). Conforme Gatev et al (2006), “Tartaglia e um grupo de acadêmicos trabalhavam na época no banco de investimentos Morgan Stanley e descobriram

oportunidades para obter lucros através de programas automatizados para negociação de ações, que utilizavam técnicas estatísticas avançadas para a época.”

Em 1989, o grupo se desfez e os integrantes do antigo grupo foram trabalhar em outras casas de investimento. Dessa forma a estratégia passou a ser difundida e popularizada no mercado.

Segundo Nath (2003), “Complementando esta definição, a estratégia consiste em identificar duas ações cujos preços “andam juntos”, e monitorar o spread de preços entre essas ações. Quando o spread aumentar acima de um limite estabelecido, deve-se comprar a ação perdedora e vender a ação vencedora. Se as ações tiverem realmente uma relação de preços estável, o spread diminuirá até os seus níveis históricos e, quando isso ocorrer, bastará encerrar a posição e embolsar o lucro.”

O trabalho de Gatev (2006) apresenta evidências de que uma estratégia denominada “*pairs trading*” produziu retornos significativos nos EUA durante o período 1962-2002.

No Brasil, o emprego desse tipo de estratégia é bastante comum entre corretoras e bancos de investimento. Corretoras (CTVM) frequentemente distribuem através do setor de análise, boletins recomendando operações long-short. Além disso, é uma estratégia bastante utilizada pelos fundos de investimento Long – Short. Com o crescimento do mercado de aluguel de ações no Brasil, a utilização desse tipo de estratégia se tornou viável no nosso mercado. Vale a pena lembrar que na década passada esse mercado era insignificante no Brasil. Assim, com a criação do Banco de Títulos CBLC – BTC em 1996 se tornou viável realizar operações vendidas.

O objetivo primário deste trabalho é caracterizar o risco e retorno da estratégia *pairs trading* ao longo do período analisado com as ações mais líquidas negociadas na Bovespa. Mensurar o retorno ajustado ao risco. Analisar se existe excesso de retorno nas operações ou se as mesmas condizem com a HME. Como objetivos secundários, investigar o efeito dos custos de transação na viabilidade da estratégia.

## 1.1 EXPOSIÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA

### 1.1.1 Origem

*Pairs trading* é uma estratégia que ficou famosa em Wall Street dos anos 80. Segundo Gatev et al. (2006), a origem da estratégia está ligada a Nunzio Tartaglia e um grupo de acadêmicos que trabalhavam na época no banco de investimentos Morgan Stanley. Reunidos, descobriram oportunidades para obter lucros através de programas automatizados para negociação de ações, que utilizavam técnicas estatísticas avançadas para a época.

Segundo Vidyamurthy (2004), em seu clássico livro sobre *pairs trading*, uma das técnicas utilizadas era a identificação de pares de ações cujos preços “moviam juntos”, e sempre que uma anormalidade na relação histórica de preços entre essas ações fosse detectada, os pares eram negociados sob a premissa de que essa anormalidade iria se corrigir automaticamente.

Segundo Caldeira (2010), Tartaglia e seu grupo empregaram a estratégia de *pairs trading* com grande sucesso ao longo de 1987. Apesar de o grupo ter sido desmontado em 1989, após dois anos de resultados ruins, a estratégia *pairs trading* se tornou cada vez mais popular entre traders individuais, investidores institucionais e hedge-funds.

### 1.1.2 A estratégia *pairs trading*

Segundo Jacobs et al. (1993), estratégias long-short com ações são estratégias que objetivam a neutralidade ao mercado (ou tentam ser, ao menos, ex-ante). Essa mantém posições compradas e vendidas com equivalentes exposições a risco de mercado em todo o tempo. Isso é alcançado quando se igualam os betas de mercado ponderados das posições compradas e vendidas dentro do portfólio. Essa abordagem elimina exposição a risco direcional ao mercado, tal que o retorno obtido não deve apresentar correlação com o índice de referência do mercado, o que é equivalente a um portfólio beta-zero. Os retornos do portfólio são gerados pelo isolamento de alfa, ajustado

pelo risco. Os recursos obtidos com a posição vendida são utilizados para financiar a posição comprada.

Entretanto, Alexander e Dimitriu (2005) alertam que, apesar de operações long-short serem ditas como neutras ao mercado, se não forem desenhadas para terem beta-zero, não necessariamente são neutras ao mercado.

No clássico livro sobre pairs trading, Vidyamurthy (2004) define a arbitragem estatística dos pares baseando-se no conceito de preços relativos. A ideia reside em explorar os desvios temporários de apreçamento (mispricings) entre dois ativos com características semelhantes. Os desvios são medidos em uma série temporal denominada spread. Quanto maior for seu valor, maior é o desvio de apreçamento entre os dois ativos e maior tende a ser o potencial de lucro. A estratégia envolve assumir uma posição long-short (comprar uma ação e vender a outra) a cada vez que o spread estiver longe de sua média histórica, com a expectativa de que o desvio de apreçamento irá se corrigir automaticamente, e quando isso acontecer, deve-se encerrar a operação.

Segundo Nath (2003), a estratégia pairs trading necessita ser dividida em três diferentes etapas. A primeira consiste em analisar as séries temporais recentes em um universo de ativos disponíveis. Esse período é denominado período de análise. A segunda etapa relaciona-se a escolha de que método estatístico será utilizado para encontrar ativos que “andam juntos”. A terceira e última etapa é negociar os pares no período subsequente ao período de análise.

Além dessas etapas, o mesmo autor sugere que deve-se levar em conta outras variáveis no estudo de pairs trading como: a duração do período de treinamento, o universo de ativos elegíveis, a métrica para selecionar os pares, o critério para decidir se os pares são muito instáveis, a duração do período de negociação, o critério para abertura e fechamento das operações assim como o critério para controle de risco.

## 1.2 OBJETIVOS

Tomando como base o problema de pesquisa, apresentam-se, na sequência, os objetivos a serem alcançados no trabalho de conclusão de curso.

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho de conclusão de curso é verificar a viabilidade operacional da estratégia de *pairs trading* utilizando a técnica de cointegração para o período de análise (2006 a 2016).

### 1.2.2 Objetivos específicos

De forma a atingir e complementar o objetivo geral, apresentam-se alguns objetivos específicos a serem alcançados no decorrer do trabalho:

- Analisar o impacto dos custos de transações (taxas e emolumentos, alugueis de ações e *slippage*) no índice de Sharpe das Estratégias.
- Comparar o desempenho de carteiras geridas pela estratégia de *pairs trading* (gestão ativa) com o índice IBOVESPA durante o período de análise.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

A principal motivação do trabalho é analisar a estratégia de *pairs trading* sob a ótica de uma técnica econométrica moderna. Dessa forma, a análise da estratégia em si permite testar a HME e por consequência desenvolver um método de gestão de carteiras que possa ser mais robusto do que se obtém através da literatura usual sob o tema.

## 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ANÁLISE DE DADOS

A metodologia aplicada ao estudo da estratégia de *pairs trading* é dividida em dois estágios principais. No primeiro estágio, denominado período de formação, com duração de dois semestres, são feitos os testes para a formação dos pares a serem operados. Nessa fase, são identificados os pares que possuem tendência estocástica em comum (“caminham juntos”). São realizados os testes de Engle e Granger assim como Johansen para cada possível par de ações. Aceitando a hipótese de cointegração dos pares e tendo

posse dos parâmetros, passa-se ao segundo estágio. O estágio dois, denominado período de trading, é onde será realizado o *backtesting* da estratégia, utilizando os parâmetros estimados para identificar os resultados da estratégia. A separação em dois estágios, formação e negociação (trading), é de fundamental importância para separar o período em que são otimizados os parâmetros de negociação do período de trading onde será testada a consistência pós-otimização. Os pares que apresentarem melhor Índice de Sharpe em trades realizados dentro do período de formação serão testados no período de operação.

#### 1.4.1 Base de dados e pré-seleção dos pares

A base de dados que será utilizada neste trabalho foi obtida através do terminal GrapherOC que disponibiliza dados de fechamento diário fornecidos pela Bovespa. Foram obtidas as ações que fizeram parte do Índice Ibovespa durante o período de 02/01/2005 até o 30/12/2016. Os dados são corrigidos para dividendos, desdobramentos e bonificações. As operações de *pairs trading* devem ser realizadas com ações que possuem elevada liquidez. Dessa forma é dada preferência às ações que pertencem ao Índice Ibovespa (que é um filtro de liquidez). No entanto, foram excluídas desse estudo ações que não apresentaram ao menos um negócio por dia ao longo do período dos dados coletados. Uma segunda alternativa possível para obtermos liquidez mínima é selecionar apenas as ações que possuem um volume acima do volume mínimo desejado.

Para testes dos possíveis pares de ações formados, não são feitas restrições com fatores fundamentalistas (restrição de ações pertencerem ao mesmo setor, ações de empresas que apresentam lucro, limite máximo de endividamento, ações que pertencem a um mesmo grupo controlador). Tendo em vista que o histórico utilizado é de 03/01/2005 à 30/12/2016, existem vinte e dois períodos de formação e vinte e dois períodos de operação. Entre todas as possíveis combinações de duas ações podemos ter a seguinte quantidade de pares:

$$\text{Número de Pares} = \frac{q*(q-1)}{n!} = \frac{29*28}{2!} = 406 \text{ Pares} \quad (1)$$



Fonte: Elaborado pelo autor.

Notas: Cinza escuro - períodos de formação dos pares. Cinza claro – períodos de operação (trading) dos pares

#### 1.4.2. Cálculo do retorno do par

Em cada período, o retorno do par negociado é calculado da seguinte forma:

$$Ret_t = \ln\left(\frac{P_{x,t}}{P_{x,t-1}}\right) - \ln\left(\frac{P_{y,t}}{P_{y,t-1}}\right) \quad (2)$$

Onde  $P_{x,t}$  e  $P_{x,t-1}$  são os preços da parte long (parte comprada) nos períodos  $t$  e  $t - 1$ .  $P_{y,t}$  e  $P_{y,t-1}$  são os preços da parte short (parte vendida) nos períodos  $t$  e  $t - 1$ . Para o cálculo do retorno, será utilizado o preço de fechamento diário das ações.

#### 1.4.3. Cálculo do Índice de Sharpe Anualizado

Em cada período, o índice de Sharpe é calculado da seguinte forma:

$$IS = \sqrt{252} * \frac{\overline{Ret_t}}{\sigma_{Ret_t}} \quad (3)$$

Onde  $IS$  é o índice de Sharpe anualizado do par.  $Ret_t$  é o retorno médio diário do par.  $\sigma_{Ret_t}$  é o desvio padrão do retorno diário do par. Conforme sugere Chan (2009), para anualizar o índice de Sharpe em operações de *pairs trading* é preciso que a fórmula multiplique por  $\sqrt{252}$  que é o número de dias úteis em um ano.

O índice de Sharpe é um indicador universalmente aceito e na estatística ele é tido como o inverso do coeficiente de variação. No entanto, a forma descrita na equação 9 não leva em consideração a taxa livre de risco. A escolha por essa alternativa se deve ao uso bastante comum na literatura de *Quantitative Trading* e a dificuldade que há em encontrar um ativo livre de risco. Essa versão do índice pode ser tratada como Razão da

Informação (*Information Ratio*). O objetivo em anualizar o índice é torna-lo comparativo com a maioria dos trabalhos e estatística de fundos que anualizam os seus resultados.

#### 1.4.4. Banda de abertura de operações em vista de $\sigma$

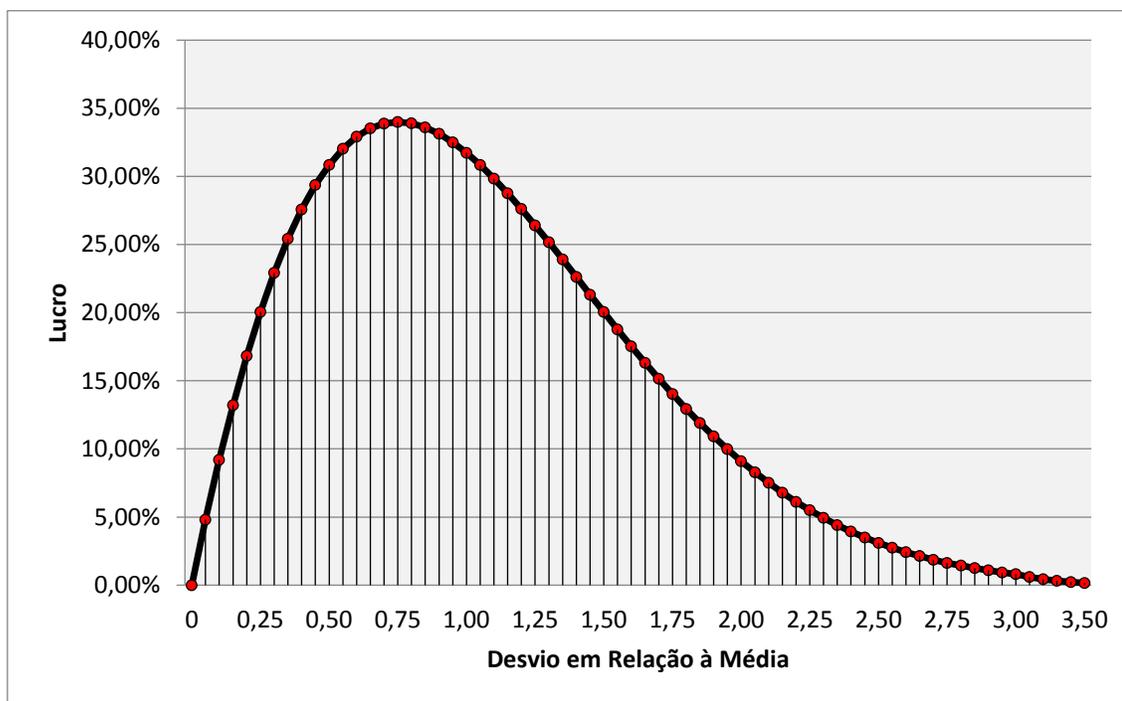
A regra de operação na estratégia de *pairs trading* consiste em comprar ou vender o par quando ele diverge  $\Delta$  unidades de desvio em relação à média. Segundo Vidyamurthy (2004) uma série de ruído branco é uma série descrita por uma distribuição de probabilidade Gaussiana. Em um processo de ruído branco, a probabilidade que a série se desvie um montante maior ou igual a  $\Delta$  é determinada pela integral do processo Gaussiano,  $1 - N(\Delta)$ . Dessa forma, em  $T$  períodos haverá  $T(1 - N(\Delta))$  vezes onde o montante desviado excederá  $+\Delta$ . De forma semelhante, para  $-\Delta$ , a probabilidade será  $N(-\Delta) = 1 - N(\Delta)$ , tendo a mesma quantidade de vezes que ficará abaixo de  $-\Delta$ . Dessa forma, existirá uma média de  $T(1 - N(\Delta))$  vezes em que será comprado ou vendido o spread do par. O lucro para cada compra e venda é equivalente a  $2\Delta$ , assim sendo, o lucro no período  $T$  é:

$$P_G = 2\Delta T(1 - N(\Delta)) \quad (4)$$

Tomando a função é possível montar um gráfico do lucro em função de  $\Delta$ , sendo esse expresso em unidades de desvio padrão  $\sigma$ . Sendo então a série um ruído branco, o ponto de máximo lucro é de  $0,75\sigma$ . A Figura 4 apresenta o lucro em função dos desvios em relação à média. Entretanto, dificilmente encontra-se no resíduo de séries cointegradas o comportamento de ruído branco. Os resíduos de séries financeiras em alguns casos possuem heterocedasticidade condicional podendo ser parametrizada por modelos ARCH, GARCH. Além disso, de fato, a função de densidade de probabilidade da série pode ser desconhecida. Por conta disso, é interessante testar variados pontos de abertura na tentativa de observar qual é a banda que melhor se adequa a um determinado conjunto de pares. Em vista disso, nessa dissertação será testada a

abertura em 1,00; 1,50; 2,00; 2,50; 3,00; 3,50; 4,00 unidades de desvio no intuito de observar quais bandas apresentam melhor resultado médio e índice de Sharpe.

Figura 2: Gráfico do lucro em função da quantidade de desvios-padrão,  $\sigma$ .



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 1.4.5. Período de formação

Cada período de formação terá duração de 12 meses. O objetivo do período é identificar pares de ações cujos preços “andam juntos” através dos testes de cointegração. Não obstante, serão estimados os parâmetros para serem testados no período de operação. Utilizando a metodologia de Engle e Granger, é possível estimar o beta ratio dos pares e testar a hipótese de cointegração. Para os testes de cointegração, serão realizadas duas metodologias distintas. A primeira é a metodologia de Engle e Granger (EG) com os testes da equações (2) e (3). A segunda metodologia é a de Johansen (JH) com os testes de Autovalores e Traço com as equações (6) e (7). Somente

os pares que tiverem seus valores críticos aceitos com 95% de certeza nos testes EG e JH serão aceitos para análise no período de operação. Além disso, nesse período serão estimadas a média e o desvio padrão que serão utilizados para normalizar o spread dos pares. Através da normalização do spread se torna possível criar regras idênticas de abertura, fechamento e stop para os diferentes pares utilizando como medida, unidades de desvio em relação à média. Além disso, os pares serão ranqueados no período de formação através do índice de sharpe (IS) no período dentro da amostra.

Cálculo do Spread Normalizado:

$$Spread\ Normalizado_t = \frac{(Ação1_t - \beta \cdot Ação2_t) - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

Onde  $Spread\ Normalizado_t$  é a série temporal do spread normalizado em unidades de desvio-padrão.  $Ação1_t$  é a Ação 1 do par cointegrado.  $Ação2_t$  é a Ação 2 do par cointegrado.  $\beta$  é o coeficiente angular obtido através de uma regressão linear simples sem intercepto entre a Ação1 e a Ação2 no período de formação.  $\mu$  é a média obtida do resíduo da regressão linear simples no período de formação.  $\sigma$  é o desvio-padrão obtido no período de formação do resíduo da regressão linear no período de formação.

#### 1.4.6. Período de operação

O período de operação inicia-se imediatamente (no dia útil subsequente) ao término do período de formação e tem duração de seis meses. No período de formação, será extraída de cada par sua média histórica e o desvio-padrão da série, os quais serão utilizados para construir as regras de operação e normalizar a série.

As regras de operação obedecerão aos critérios de reversão à média, ou seja, quando o spread divergir um determinado número de desvios-padrão da sua média, são executadas duas operações: a) uma venda (compra) do ativo1 e uma compra (venda) do ativo 2. Se o spread normalizado retornar ao intervalo determinado de desvios em relação

a sua média, a operação realizada será desfeita. Caso o spread não retorne à média, a operação realizada será desfeita se o preço atingir um número ainda maior de desvios-padrão além da média (stop-loss).

Nos casos em que as operações realizadas atinjam o nível de stop-loss, o spread deve voltar aos padrões normais para montar novas operações a fim de evitar operações sequenciais no mesmo sentido da que foi encerrada. O capital parado não é aplicado em renda fixa.

Com o objetivo de testar diversos parâmetros para a operação de *pairs trading*, serão testadas diferentes bandas de abertura, em unidades de desvio ( $\sigma$ ), sendo elas 1,00, 1,50, 2,00, 2,50, 3,00, 3,50, 4,00. Serão testadas as bandas de Stop, sendo essas em pelo menos 0,5 unidades de desvio maior que a banda de abertura e tendo o limite máximo de 5,00 unidades de desvio. A ideia da utilização da banda de Stop é limitar a perda das operações. Pares cointegrados possuem a expectativa de retorno à média enquanto houver cointegração. Como não há garantias que o par continue sendo cointegrado no futuro, é necessário limitar as perdas por uma possível quebra estrutural. Os pares serão testados com duas bandas de fechamento, sendo elas de 0,1 e 0,5 unidades de desvio. Através das regras de trading é calculado o IS no período de formação. Serão testados apenas os pares que obtenham IS superior a 1,00 no período de formação para assim avaliar o IS no período de trading assim como a rentabilidade líquida dos par.

#### 1.4.7. Custos de Transação

Para que o trabalho se aproxime da realidade das negociações na Bovespa, é necessário considerar o impacto dos custos operacionais nas operações simuladas. Conforme Kabashima (2003) é possível elencar os quatro principais custos e dividir em dois grupos. Os quatro são o custo de aluguel, a corretagem, o bid & ask spread (diferencial entre o preço de compra e venda) e o custo do capital alocado para a estratégia. Os grupos podem ser divididos da seguinte forma: Aqueles que são função de cada operação, independentemente do tempo e os que são dependentes apenas do tempo de duração de cada operação.

O aluguel é função do tempo, pois nele é aplicada uma taxa durante o período de abertura e fechamento da operação. A taxa média de aluguel fornecida pelo site do BTC durante os anos de 2006 a 2011 é de 2,97% a.a. No ano de 2011 a média foi de 2,76%. Nesse trabalho será utilizada a taxa de 3,00% a.a. para o cálculo do custo de aluguel nas operações.

A corretagem é um custo que não depende do tempo. É uma função da quantidade de operações. O padrão pela tabela de corretoras é de 0,5% do volume de negociação. O praticado no mercado para fundos de investimento é a devolução de 90% sobre a corretagem padrão, o que gera um custo efetivo de 0,05%. Entre a abertura e fechamento de uma posição de pares, temos 0,20% como custo efetivo de corretagem.

Além da corretagem, é necessário levar em consideração os outros custos de negociação da Bovespa que são de 0,0345% do volume negociado (0,007% Emolumentos e 0,0275% Taxa de Liquidação). Taxa essa vigente no período de 2011. Cabe aqui uma ressalva entre as taxas diferenciadas que a Bovespa passou a utilizar entre o investidor pessoa física e o investidor institucional (fundos de investimento) a partir de 2011. A taxa cobrada da pessoa física passou a ser de 0,0325% e a institucional passou a ser de 0,025%. Esse trabalho irá utilizar 0,0345% por ser a taxa vigente até 2011.

Outro custo que deve ser levado em consideração é o Bid & Ask Spread. Ele surge pela diferença (spread) entre o preço de compra e o preço de venda do mesmo ativo. Esse efeito é decorrente da liquidez do ativo negociado. Ao observar o último negócio realizado com o ativo, a próxima negociação pode não ser realizada ao mesmo preço devido à diferença entre o preço de compra e venda. Para os ativos mais líquidos, há a expectativa de menor spread para a sua negociação, enquanto em ativos menos líquidos, maior a expectativa do spread de compra e venda. Para esse trabalho, a alternativa utilizada para não incorrer em custos de bid & ask foi utilizar ativos mais líquidos e que tiverem negócios em todos os dias da série histórica de 2000 a 2011.

Entretanto, trabalhos como os de Jegadeesh e Titman (1995) e Gatev et al (2006) sugerem que uma parte dos resultados encontrados pode ter um viés positivo devido ao efeito bid & ask.

Dessa forma, se torna impossível inferir se o preço de fechamento de um ativo corresponde à oferta de compra ou de venda.

Sendo feita uma descrição da metodologia de estudo das estratégias *pairs trading* neste capítulo, o próximo se destina a investigar os resultados obtidos e mostrar a separação de três estratégias diferentes que representam parâmetros utilizados no mercado.

#### 1.4.8. O mercado de aluguel de ações

No Brasil o aluguel de ações surgiu com a criação em 1996 do BTC (banco de títulos). Esse disponibiliza um serviço por meio do qual os investidores disponibilizam títulos para empréstimos e os interessados os tomam mediante aporte de garantias. A CBLC atua como contraparte no processo e garante as operações. O acesso ao serviço se dá por meio de um sistema eletrônico, e o tomador paga uma taxa ao doador, acrescida do emolumento da CBLC. A taxa é livremente pactuada entre as partes. Todos os proventos declarados pelo emissor do título pertencem ao proprietário original ([www.cblic.com.br](http://www.cblic.com.br)).

Conforme a CBLC, os ativos elegíveis para as operações de empréstimo de títulos no BTC são as ações emitidas por companhias abertas admitidas à negociação na BOVESPA.

Para minimizar possíveis falhas nos processos de liquidação das operações, nas situações em que o investidor vendedor não dispõe de títulos para entregar na liquidação das vendas, havendo disponibilidade (registro de oferta), a CBLC toma emprestados compulsoriamente os títulos para a carteira desse investidor. No Brasil, a venda descoberta é realizada através do empréstimo de ativos via BTC.

A tabela 2 apresenta os dados do mercado de empréstimo de títulos de 1996 até 2016. O volume que era de pouco mais de 300 milhões de reais negociados em 1996 passou para cerca de 700 bilhões de reais negociados no ano de 2016. A quantidade de ativos negociados passou de 4 para 270 no período.

**Tabela 2: Dados de crescimento do Mercado de Aluguel de Ações**

Ano	Volume R\$ milhões	Quantidade de operações	Quantidade média de ativos objetos
1996	354	66	4
1997	416	341	14
1998	855	983	24
1999	1.574	1.460	21
2000	2.866	2.530	30
2001	6.572	11.953	58
2002	7.559	22.486	66
2003	13.160	39.044	73
2004	25.884	78.729	116
2005	58.926	166.494	134
2006	109.674	271.210	156
2007	272.473	568.592	220
2008	303.506	627.414	251
2009	258.913	711.987	241
2010	465.606	971.558	260
2011	732.751	1.417.787	277
2012	785.928	1.313.355	277
2013	1.006.864	1.693.151	292
2014	735.018	1.518.369	290
2015	665.732	1.519.445	280
2016	692.745	1.384.209	270

Fonte: Elaboração do autor com dados da BOVESPA

### 1.5. Arbitragem e limites à arbitragem

Segundo Barros (2004), nos modelos tradicionais, que partem da premissa de que os agentes são todos racionais e não há fricções, o preço de um ativo no mercado é equivalente ao seu valor “fundamental”, dado pela soma dos valores descontados dos seus fluxos de caixa esperados.

Segundo Fama (1970), A Hipótese dos Mercados Eficientes (HME) presume que os preços atuais refletem os valores fundamentais.

Ainda segundo Barros (2004), na visão de muitos economistas, mesmo que parte dos agentes dos mercados financeiros atue de forma irracional, a Hipótese de Mercados Eficientes prevalecerá. O argumento baseia-se essencialmente em duas assertivas: A primeira é que se houver um desvio nos preços dos ativos em relação a seus valores "corretos", cria-se uma oportunidade atrativa de lucros. A segunda é que os agentes racionais aproveitarão rapidamente esta oportunidade, conduzindo os preços de volta a seus valores de equilíbrio, situação na qual o preço e o valor fundamental do ativo são iguais. A este mecanismo de correção de distorções no mercado dá-se o nome de arbitragem.

Corroborando a ideia, Aldrighi e Milanez (2005) afirmam que, quando os preços dos ativos desviam do valor intrínseco, as operações de arbitragem trazem a sua convergência.

Thaler e Barberis (2003) argumentam que existem barreiras à arbitragem que não tornam a oportunidade de arbitragem tão simples. Os autores explicam que, quando um ativo está mal apreçado, estratégias para retomar o equilíbrio podem ser arriscadas e custosas, tornando-se desinteressantes para os investidores racionais. Sendo assim, a presença de agentes que não são totalmente racionais poderia responder por distorções de preços permanentes ou que reverberam por longo período.

Pode-se definir arbitragem como uma estratégia de investimento que oferece ganhos sem que haja risco ou custos adicionais. Os investidores racionais, ao agirem quando notam que os preços estão incorretos, são chamados de arbitadores, por buscarem um ganho sem risco. Todavia, em finanças comportamentais o argumento é que essas estratégias adotadas pelos agentes racionais no mundo real não podem ser chamadas de arbitragem, pois, na maioria dos casos, envolve risco. Por essa razão, o preço pode permanecer incorreto.

Segundo Thaler e Barberis (2003) e Shleifer, (2000), os arbitradores estão expostos a diferentes riscos. Entre eles, podemos falar sobre o risco fundamental do ativo, o risco proveniente de movimentos dos investidores irracionais (*noise traders*) e os custos de implementação da estratégia.

- O risco fundamental do ativo: Para que aconteça uma arbitragem no sentido clássico – sem risco – é necessário que ativos substitutos perfeitos do ativo objeto da arbitragem estejam disponíveis. Por exemplo, se o objeto da arbitragem é uma ação A, é preciso encontrar uma outra ação B cujos fluxos de caixa futuros sejam perfeitamente correlacionados com os da ação A. Em razão da dificuldade de se encontrar ativos substitutos perfeitos, é impossível eliminar parte do risco fundamental do ativo;
- O risco proveniente de movimentos dos investidores irracionais (*Noise Traders*): Segundo De Long *et al* (1990), há o risco de que uma distorção de preços já detectada pelos arbitradores se torne ainda mais pronunciada no curto prazo. Uma vez que existe a distorção causada por comportamentos irracionais, é possível que esta aumente ainda mais em razão da continuidade dos referidos comportamentos. Neste caso, os arbitradores sofreriam severos prejuízos por um período de tempo que não se pode determinar com precisão, o que desestimula a ação de arbitragem;
- Os custos de implementação da estratégia: Incluem-se neste tópico os chamados custos de transação, comissões, taxas, diferença entre os preços de compra e de venda de um título (*bid-ask spread*), dentre outros. Em seu conjunto, estes custos podem diminuir sensivelmente ou mesmo eliminar os possíveis ganhos com a arbitragem, tornando-a menos atraente.

Os trabalhos de Gatev *et al.* (2006), e Nath (2003), também alertam sobre os riscos envolvendo a estratégia *pairs trading*. Dessa forma, pode-se afirmar que a estratégia *pairs trading* possui risco e pode ser denominada de arbitragem dentro do conceito de finanças comportamentais.

### **1.6. Riscos envolvendo a estratégia de *pairs trading***

A utilização da estratégia na prática apresenta algumas dificuldades. Os autores Nath (2003) e Lin, Mccrae e Gulati (2006) argumentam que a utilização da estratégia na prática é mais difícil e os retornos são menores do que em teoria, devido à presença de fricções e imperfeições de mercado, como os “GAPs” nos preços das ações no dia em que passam a ser negociadas ex-dividendos, custos de transação, custos de financiamento e impostos. Não obstante, Nath (2003) também argumenta que há outros riscos envolvidos como o de microestrutura de mercado, mudanças nos fundamentos econômicos, e movimentos dos investidores irracionais (*noise traders*). Esse último fator faz com que, mesmo que os fundamentos econômicos permaneçam inalterados, os desvios de apreçamento continuem reverberando desde o momento de abertura da posição.

Gatev *et al.* (2006) argumenta que os retornos anormais da estratégia correspondem à remuneração para os arbitradores que se aproveitam da lei do preço único, e que existe um fator de risco não identificado que influencia os retornos da estratégia no tempo.

Além dos riscos mencionados acima, a estratégia também está exposta aos riscos inerentes às limitações das técnicas estatísticas utilizadas. Segundo Lin, Mccrae e Gulati (2006), a utilização de ferramentas de controle de risco como o *stop loss* (encerra-se uma posição quando se atinge um limite aceitável de perda) ajudam a limitar, mas não a impedir a ocorrência de perdas.

Um caso recente e famoso que demonstra os riscos potenciais envolvendo as estratégias adotadas por *hedge funds* foi a quebra do fundo da *Long Term Capital Management* (LTCM). Entre as estratégias *Long-Short* utilizadas pelo fundo, uma era o *pairs trading*. Lowenstein (2000) em seu livro “*When Genius Failed*” narra de forma completa o fato acontecido.

## **2. Decomposição de *pairs trading* em seus principais elementos teóricos**

### 2.1. Hipótese dos Mercados Eficientes (HME).

Para Fama (1970), caso não existam custos para transacionar os ativos, se todas as informações estão disponíveis gratuitamente a todos e se todos concordam com as implicações das informações atuais sobre os preços presentes e as distribuições de preços futuros, então teremos condições suficientes para a eficiência dos mercados.

Consequentemente, na interpretação do autor, a hipótese dos mercados eficientes afirma que é inviável um especulador superar constantemente os retornos do mercado usando quaisquer informações públicas ou privadas, visto que estas ajustam rapidamente os preços praticados no mercado. Informação é tudo o que possa afetar os preços, que é de conhecimento público ou privado no presente. Gatev *et al* (2006) afirma que se a hipótese de eficiência dos mercados é observável durante todo o tempo, não deveríamos observar o retorno positivo, ajustado ao risco, de operações *pairs trading*. Logo, se operações *pairs trading* passam a fornecer excesso de retorno (retorno além do retorno ajustado ao risco) ao longo do tempo, temos uma evidência da não eficiência do mercado.

### 2.2. Estratégias contrárias de investimento.

Uma das questões teóricas que envolve a estratégia de *pairs trading* é se o retorno da estratégia é oriundo do retorno à média de ações com retornos anormais. No caso, comprar uma ação que caiu demais e vender a descoberto uma ação que subiu demais. Há trabalhos que testam isoladamente a estratégia de comprar ações “perdedoras” (aquelas que sofreram maior desvalorização por um período determinado) e mantê-las por um determinado período de avaliação e vender ações “ganhadoras” (aquelas que sofreram maior valorização por um período determinado) e manter a posição por um período de avaliação. Essa abordagem acredita na sobre-reação do mercado a fatos novos e vai contra a HME.

Um dos primeiros trabalhos a abordar a questão de sobre-reação dos preços é De Bondt e Thaler (1985). Esses afirmam que quando ações são agrupadas e ordenadas pelos retornos apresentados ao longo dos últimos três a cinco anos, as ações vencedoras do passado tendem a ser as perdedoras do futuro e as ações perdedoras do passado tendem a ser as vencedoras do futuro. A justificativa que os autores atribuem a esse mecanismo de reversão de longo prazo é que os preços apresentam erros cognitivos cometidos por investidores. Ainda segundo os autores, os agentes de mercados, ao formarem suas expectativas, tendem a dar um peso muito grande às informações passadas mais recentes (retornos altos) e pouca atenção ao fato de que o desempenho de ativos financeiros tende a apresentar o fenômeno de reversão à média.

Uma evidencia interessante foi encontrada por Jegadeesh (1990). O autor reportou evidências de previsibilidade nos retornos das ações, encontrando correlações negativas (reversão à média nos preços) de primeira ordem, e positivas de ordens mais elevadas (principalmente com 12 defasagens), o que rejeita que os preços sigam um processo de *random walk* (passeio aleatório).

Gatev *et al.* (2006) definem a estratégia *pairs trading* como um tipo de estratégia contrária de investimento, porque aposta na reversão à média na série de *spread* entre dois ativos.

### 2.3. Estratégias *long-short* neutras ao mercado.

Segundo Dunis e Ho (2005), essa estratégia define-se pela compra de uma carteira de ações atraentes e venda de outra carteira de ações que não são atraentes. Entre as vantagens dessa estratégia está o fato de que, se implementada corretamente, o comportamento do mercado não irá influenciar os resultados da carteira formada pelas ações compradas e vendidas. O artigo realizou testes de cointegração não em pares, mas sim sobre carteiras. O desenho estatístico foi feito para operar uma carteira comprada e outra vendida. Logo, as definições são feitas para carteiras e não para pares.

Do ponto de vista operacional, a estratégia apresenta vantagem porque ela se autofinancia, ou seja, os recursos provenientes da venda de uma das carteiras podem ser usados para pagar pela compra da outra carteira. Por causa disso, é possível alavancar diversas vezes uma determinada posição enquanto for possível cobrir as chamadas de margem.

Dunis e Ho (2005) também encontraram evidências de que uma estratégia *long-short* neutra produz retornos significativos, mesmo em circunstâncias adversas de mercado. Eles efetuaram um estudo em uma amostra com ações europeias no período 1999-2003.

### 2. 4. Preços relativos e a lei do preço único

Segundo Gatev *et al.* (2006), os preços dos ativos podem ser descritos como de forma absoluta ou relativa. Os preços absolutos consideram os fundamentos dos ativos, como a teoria de fluxos de caixa descontados. Nos preços relativos, pressupõe-se que

dois ativos com características econômicas semelhantes devem ser negociados a preços muito parecidos, não importando quais sejam esses preços.

*Pairs trading* se encaixa como uma estratégia de valor relativo, que procura se aproveitar de uma distorção temporária nos preços relativos entre dois ativos com características similares, comprando-se o ativo subavaliado e vendendo-se o ativo sobreavaliado, sob a premissa de que essa distorção irá se corrigir futuro. Não há restrições quanto aos ativos que podem ser utilizados, embora esse estudo aborde somente a sua utilização em ações.

Conforme Takimoto (2007), a explicação do surgimento de distorções temporárias pode ser explicada pela ideia apresentada por Andrade, Pietro e Seasholes (2005), que afirmam que investidores não racionais involuntariamente provocam choques nos preços das ações, causando essa distorção temporária, e que os lucros da estratégia correspondem a: (1) remuneração para os arbitadores ajudarem os preços relativos a voltar à sua situação de equilíbrio, e (2) contribuição ao aumento da liquidez dessas ações em um momento de *stress*.

Gatev *et al.* (2006) sugerem que os preços relativos seguem a lei do preço único. Em mercados competitivos, e na ausência de custos de transação e barreiras a realização de negócios, a teoria econômica ensina que essa lei deveria funcionar perfeitamente, pois, caso contrário, as oportunidades de lucro dos arbitadores seriam ilimitadas (eles poderiam comprar e vender o mesmo ativo por preços diferentes, auferindo um lucro sem risco).

Lamont e Thaler (2003) afirmam que a lei do preço único é a base da moderna teoria de finanças, na qual estão incluídos modelos como a proposição sobre estrutura de capital de Modigliani-Miller, a fórmula Black & Scholes e o modelo APT, e apesar disso a sua aplicação nos mercados de capitais é controversa: na última década foram detectadas muitas violações dessa lei. Barberis e Thaler (2003) argumentam que a arbitragem possui eficiência limitada devido à presença dos limites à arbitragem (que descrevemos na seção 2.4).

O estudo conduzido por Gatev *et al.* (2006) foi apresentado pelos autores como um teste da lei do preço único, em que os resultados anormais obtidos correspondem à remuneração dos arbitradores por obedecerem a essa lei. Os resultados de Andrade, Pietro e Seasholes (2005) corroboram essa teoria. O objetivo principal desse trabalho foi verificar a existência de oportunidades de lucro com a estratégia *pairs trading*. Para existir oportunidades de lucro, é necessário que os pares, em média, obedeçam à lei do preço único, e por isso, o nosso trabalho também pode ser visto como um teste da lei do preço único no mercado de ações brasileiro.

## 2.5. Cointegração.

O ponto de partida para conseguir por em prática a estratégia com sucesso é identificar ativos “cujos preços andam juntos”, pois a premissa da estratégia é justamente a relação histórica de dependência entre os preços dos ativos.

Conforme Alexander (2006), a cointegração não se refere aos movimentos conjuntos dos retornos, mas sim aos movimentos conjuntos dos preços dos ativos (ou taxas de câmbio ou rentabilidades). Se os *spreads* apresentam reversão à média, então os preços dos ativos estão ligados, no longo prazo, por uma tendência estocástica comum e, nesse caso, pode-se dizer que os preços são cointegrados. Desde o trabalho seminal de Engle e Granger (1987), a cointegração tem-se tornado a ferramenta predominante da econometria de séries temporais. Ela tem emergido como uma técnica poderosa de investigação das tendências comuns em séries de tempo multivariadas e fornece uma metodologia sólida para se modelar as dinâmicas de longo e de curto prazos de um sistema. A cointegração é um processo de duas etapas: primeiramente, quaisquer relações de equilíbrio de longo prazo entre preços são definidas e, a seguir, estima-se um modelo dinâmico de correlação dos retornos. Esse modelo de correção de erro (VCE), assim chamado porque os desvios de curto prazo do equilíbrio são corrigidos, revela causalidade de Granger que devem estar presentes em um sistema cointegrado.

Ainda segundo Alexander (2006), o objetivo fundamental da análise de cointegração é detectar quaisquer tendências estocásticas comuns nos dados dos preços e usá-las na análise dinâmica da correlação dos retornos.

No mercado ainda é mais comum a utilização de medidas como a correlação para estratégias de *pairs trading*. No entanto, a correlação reflete os movimentos conjuntos dos retornos, responsáveis pelas grandes instabilidades ao longo do tempo. É intrinsecamente uma medida de curto prazo. Estratégias hedge, por exemplo, que se baseiam na correlação exigem rebalanceamento frequente. As estratégias de administração de investimento que baseiam somente nas correlações não podem garantir um desempenho no longo prazo, porque não há um mecanismo que possa assegurar a reversão do ativo subjacente.

Corroborando com a ideia, Dunis e Ho (2005) mostraram que a cointegração é mais eficiente do que a correlação na gestão de portfólios long-short, já que mostra uma relação de longo prazo e exige uma frequência menor de rebalanceamento dos portfólios.

Conforme Vidyamurthy (2004) e Enders (2002) a cointegração é uma relação estatística onde duas séries de tempo integradas de mesma ordem,  $d$ , podem ser combinadas linearmente para produzir uma única série temporal a qual é integrada de ordem  $d - b$ , onde ( $d > b > 0$ ). Conforme o trabalho de Engle e Granger (1987), as seguintes definições que nos ajudam a formalizar a metodologia da cointegração:

Definição 1.1: Uma série temporal  $X_t$  é dita uma série  $I(1)$  se a primeira diferença da série é estacionária, denotada por  $I(0)$ .

Definição 2.1: Seja  $X_{1,t}; X_{2,t}; \dots; X_{k,t}$  uma sequência de séries de tempo  $I(1)$ . Se existem números reais  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ , diferentes de zero, tal que a combinação linear da equação (1) forme uma série  $I(0)$ , então  $X_{1,t}; X_{2,t}; \dots; X_{k,t}$  são ditas cointegradas.

$$\beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{2,t} + \dots + \beta_k X_{k,t} \quad (1)$$

#### 2.6.5.1 Teste de Cointegração de Engle-Granger

Segundo Alexander (2005), quando se considera somente duas séries integradas na cointegração (caso do *pairs trading*), pode haver, no máximo, um vetor cointegração, pois se houver dois vetores, as séries originais devem ser estacionárias. Conforme Bueno (2008), o teste de Engle-Granger (1987) é indicado para ser feito sobre uma única equação, caso esse que se aplica ao *pairs trading*. O teste propõe uma metodologia de três passos para determinar se as variáveis são cointegradas. A primeira parte é testar se as variáveis a serem testadas são todas integradas de ordem um  $I(1)$ . Em seguida, estima-se o beta (*hedge ratio*) por mínimos quadrados ordinários (MQO) e armazenam-se os resíduos dessa regressão. Dela se obtém a relação da equação (2):

$$P_{x,t} - \beta \cdot P_{y,t} = z_t \quad (2)$$

Onde o termo do lado esquerdo representa a relação linear entre as séries de preço da ação  $x$  e da ação  $y$  em  $t$ .  $\beta$  é o coeficiente de cointegração.  $z_t$  é o valor do *spread* no tempo  $t$ . É importante observar que a regressão é estimada sem intercepto. Conforme sugerido por Caldeira (2010), é intuitivo pensar que não há um preço mínimo para uma ação quando a outra vai à zero.

Se as variáveis forem cointegradas, os resíduos dessa regressão serão estacionários e o beta será a relação de longo prazo entre essas variáveis. Por derradeiro, é testada a significância dos resíduos estimados com o teste de raiz unitária, ADF (Dickey-Fuller Aumentado). Se a hipótese nula de raiz unitária dos resíduos não for rejeitada, as variáveis não serão cointegradas. Em contraste, a rejeição da hipótese nula implica que as variáveis são cointegradas.

Os passos do teste podem ser resumidos da seguinte forma:

1. Realiza-se o teste de raiz unitária, ADF, nas variáveis de interesse e certifica-se que essas são  $I(1)$ .

2. Estima-se a relação de longo prazo via MQO e armazenam-se os resíduos.
3. Realiza-se o teste de raiz unitária nos resíduos estimados, usando o procedimento ADF:

$$\Delta \hat{u}_t = \alpha u_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_{i+1} \Delta \hat{u}_{t-i} + v_t \quad (3)$$

A não rejeição de  $H_0: \alpha = 0$  implica que os resíduos têm raiz unitária, de modo que as variáveis não cointegram.

Como os resíduos são estimados, não é possível usar os valores tabulados convencionalmente. É necessário usar uma tabela apropriada a variáveis estimadas como a que foi utilizada no trabalho de Engle e Granger (1987) ou utilizar o procedimento de MacKinnon (1991).

#### 2.6.5.2. Teste de Cointegração de Johansen

A metodologia dos testes de Johansen para cointegração baseia-se nos autovalores de uma matriz estocástica e, de fato, consiste em um problema de correlação canônica similar ao de componentes principais. É procurada a combinação linear que seja a mais estacionária possível, enquanto os testes de Engle-Granger, baseados em mínimos quadrados ordinários (MQO), buscam a combinação linear de variância mínima. A metodologia de Johansen começa com um vetor autoregressivo (VAR) de ordem  $p$ , dado por:

$$y_t = \mu + A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (4)$$

onde  $y_t$  é um vetor ( $n \times 1$ ) de variáveis integradas de ordem um.  $\varepsilon_t$  é um vetor ( $n \times 1$ ) de inovações. Este VAR pode ser reescrito como:

$$\Delta y_t = \mu + \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Onde  $\Pi = \sum_{i=1}^p A_i - I$  e  $\Gamma_i = -\sum_{j=i+1}^p A_j$ .

Se o coeficiente da matriz  $\Pi$  reduziu a ordem  $r < n$ , então existem matrizes  $(n \times r)\alpha$  e  $\beta$  com ordem  $r$  tais que  $\pi = \alpha\beta'$  e  $\beta'y_t$  é estacionário.  $r$  é o número de relações de cointegração, os elementos de  $\alpha$  são conhecidos como parâmetros de ajuste do modelo de correção do vetor de erro (VECM) e cada coluna de  $\beta$  é um vetor de cointegração. Pode ser mostrado que, para um dado  $r$ , o estimador de máxima verossimilhança da significância dessas correlações canônicas e, conseqüentemente, da ordem reduzida da matriz  $\Pi$ : o teste do traço e o teste do máximo autovalor, como mostram as seguintes equações:

$$J_{\text{traço}} = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (6)$$

$$J_{\text{Máximo Autovalor}} = -T \cdot \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (7)$$

O procedimento de Johansen é mais informativo que o de Engle-Granger porque identifica todas as relações de cointegração possíveis. Em geral, ele é empregado na análise de problemas econômicos onde geralmente existem muitas variáveis no sistema e, frequentemente, não há uma clara indicação de quais devem ser as variáveis dependentes na regressão de Engle-Granger.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006)

Ao longo do tempo, algumas metodologias de *pairs trading* foram estudadas. Mesmo sendo uma estratégia amplamente utilizada pelos participantes do mercado, essas tem recebido pouca atenção da comunidade acadêmica. Gatev et al. (2006) realizou um estudo que se tornou o principal referencial teórico para o estudo de *pairs trading*. O período de análise foi de 1962 a 2002 no mercado acionário americano e o trabalho apresentou retorno significativo no prazo considerado. A abordagem utilizada produziu excesso de retorno anualizado de 11%. A estratégia utilizada consistiu em dividir a análise em dois períodos. Um período de formação de pares (12 meses) e período de negociação (6 meses subsequentes). Foram formadas carteiras contendo os 5, 20 e 120 primeiros pares ranqueados em ordem crescente segundo o critério de cointegração utilizado no trabalho.

O período de formação tem como finalidade identificar os pares de ações que possuem uma tendência em comum. No período de negociação, os pares foram negociados seguindo o seguinte critério: quando o spread se afastava em dois desvios-padrão do spread médio de 12 meses montava-se a operação long-short. As operações eram encerradas quando o spread voltava à média ou no último dia dos seis meses em que eram válidos os parâmetros.

O trabalho verificou se a estratégia *pairs trading* estudada era um simples caso de reversão a média. Para isso, gerou pares aleatórios e comparou o resultado com os pares de *pairs trading*. Além disso, foi verificado se os resultados obtidos estavam enviesados pelo efeito “*bid e ask*”. Para isso, calcularam os resultados retardando um dia a abertura e o fechamento dos pares.

Os portfólios formados pelos primeiros 5 e primeiros 20 pares renderam, em média, 0,78% e 0,81% ao mês. Ao se considerar o possível efeito do “*bid e ask*”, os retornos caem para 0,46% e 0,52% ao mês, para os primeiros 5 e os primeiros 20 pares, respectivamente, o que evidencia que parte dos resultados anteriores estava enviesada por esse efeito;

Em média, 71% dos pares nas carteiras formadas pelos primeiros 20 pares pertenciam ao setor de concessionárias de serviços públicos, embora o número de ações pertencentes a esse setor na amostra do estudo não seja significativa;

Entre 1963 e 2002, o excesso de retorno da estratégia *pairs trading* foi, em média, o dobro do excesso de retorno do S&P 500, e o índice de Sharpe calculado foi entre 4 e 6 vezes maior do que o índice de Sharpe do mercado;

O VaR histórico calculado mostrou que, nos 40 anos do estudo, a pior perda mensal dos primeiros 5 e primeiros 20 pares foi, respectivamente, 12,62 % e 8,2%. A estratégia apresentou retornos decrescentes nos anos mais recentes, enquanto que entre 1969 e 1980, quando os mercados caíram, a estratégia apresentou a melhor performance dentro do estudo;

Os pares gerados aleatoriamente pelo *bootstrap* apresentaram retornos muito inferiores aos pares gerados no período de formação, e a conclusão do estudo é a de que a estratégia *pairs trading* não é simplesmente uma forma de explorar a reversão dos preços à média.

## 2.2. Caldeira (2010)

O trabalho de Caldeira é na base de dados da Bolsa Brasileira no período que vai de janeiro de 2005 a dezembro de 2009. Ele realizou em seu trabalho a aplicação de dois métodos de análise de cointegração em séries temporais conhecido como teste de cointegração de Johansen e o teste de cointegração de Engle-Granger. Assim, o primeiro objetivo foi desenvolver o método para identificar pares que poderiam ser negociados na estratégia *pairs trading*. O autor reforça a preferência em usar a abordagem econométrica de cointegração por essa mostrar relações estáveis de longo prazo. Sua rejeição a correlação é por essa ser uma medida de curto prazo e instável. Além de estimar uma relação de equilíbrio de longo prazo para identificar os pares e modelar os resíduos resultantes, com característica de reversão à média, foi empregado um indicador de rentabilidade em simulações dentro da amostra para selecionar pares de ações para compor uma carteira *pairs trading* em testes fora da amostra. Posteriormente, para os pares que passam nos testes de cointegração, é calculada a meia-vida, através da equação de Ornstein-Uhlenbeck. Subsequentemente, foi calculado o spread padronizado entre as ações. Foram simuladas operações no período dentro da amostra com base em três regras simples. Uma posição foi aberta sempre que o spread se

distanciava por mais que dois desvios da sua média de longo prazo. Todas as posições foram liquidadas quando o spread retornou para sua média de longo prazo, ou quando a posição estava aberta por um período igual à meia vida do par. A partir disso, foi montada uma carteira composta com os 20 pares que apresentaram maior IR para o período simulado dentro da amostra. Foi obtida a rentabilidade média de 17,49% a.a. Apresentando índice de Sharpe de 1,29 e baixa correlação com o mercado, os resultados reforçam o uso do conceito de cointegração na gestão quantitativa de fundos.

### 2.3. Longo (2008)

O trabalho verificou a viabilidade de operações *pairs trading* no mercado acionário brasileiro. Foram testadas 55 ações no período de 2003 a 2008. Como metodologia utilizada, foram construídos ativos sintéticos a partir de combinações lineares de preço de ações. Conforme Burgeois e Mirko (2005), foi utilizada a metodologia de Johansen para formação dos pares a serem testados. Foi testada a estacionariedade do ativo sintético construído através dos testes de raiz unitária: DF-GLS e KPSS. Em seguida, a estratégia foi simulada com os pares selecionados. Para encontrar os melhores parâmetros, foi testado diferentes períodos de formação de pares, de operação, de entrada, de saída e stop-loss. No total, foram testados 64 tipos possíveis de estratégias *pairs trading*. Ao final do trabalho foi adicionado custos de transação para tornar a estratégia mais realista possível.

Os resultados apontam que em 6 diferentes da estratégia os retornos médios por cada operação foram positivos entre 0,04% e 0,81%, excluindo-se os custos operacionais. A variabilidade dos retornos no período de backtesting se mostrou elevada. Dessa forma, o autor classificou as diversas estratégias pela estatística t de seus retornos tendo o objetivo de encontrar as que apresentassem a maior unidade de retorno por unidade de variabilidade. As estratégias que apresentaram o melhor resultado foram as que tinham a maior janela de dados em seus pares de formação, o que era esperado uma vez que a metodologia busca capturar relações de longo prazo.

### 3 RESULTADOS

Conforme apresentado ao longo do capítulo 3, foram obtidas, através do terminal GrapherOC, cotações de 59 ações que fizeram parte do índice Ibovespa durante o período de 03/01/2005 até o 29/12/2016. Os dados são corrigidos para dividendos, desdobramentos e bonificações. Filtramos para deixar na amostra final apenas ações que obtiveram negócios ao longo de toda a série. Dessa forma, das 59 iniciais ao fim obtivemos 32 ações. Entre todas as possíveis combinações de duas ações podemos ter 496 pares por período.

Levando em consideração os vinte e dois períodos de formação, teremos 10.912 pares candidatos à estratégia *pairs trading* que envolve cointegração.

Em cada período de formação, foram realizados os testes de cointegração de Engle e Granger assim como os testes de Johansen. Os pares que passassem nos testes com 95% de certeza, seriam armazenados para calcular-se o *beta ratio* de cointegração, a média do *spread* e o desvio padrão. Com a posse desses parâmetros, obteve-se o *spread* normalizado.

A partir do *spread* normalizado, foi possível simular dentro do período de *trading* três diferentes estratégias no que diz respeito à diferentes bandas de abertura, fechamento e *stop*.

A estratégia 1 consistiu em abrir operações (comprar ou vender o *spread*) quando a série normalizada estivesse acima ou abaixo de 2,5 desvio-padrão. O Fechamento da operação era realizado quando o *spread* normalizado voltasse para o intervalo de 0,5 desvio-padrão (positivo ou negativo) ou a operação era encerrada caso o *spread* normalizado alcançasse 5,0 desvio-padrão. Enquanto nenhum desses cenários se desdobrasse, a operação era mantida e isso continuava a ensejar custos de aluguel. A razão da escolha desses valores para a primeira banda é que esses se encontram mais próximos dos valores praticados no mercado por *traders* quando fazem uso da correlação para operarem os pares.

A estratégia 2, por sua vez, consistiu em abrir operações (comprar ou vender o *spread*) quando a série normalizada estivesse acima ou abaixo de 1,0 desvio-padrão. O

Fechamento da operação era realizado quando o *spread* normalizado voltasse para o intervalo de 0,5 desvio-padrão (positivo ou negativo) ou a operação era encerrada caso o *spread* normalizado alcançasse 3,0 desvio-padrão. A motivação econômica para essa banda é que segundo Vidyamurthy (2011), a banda que maximiza o lucro para operações com características de ruído branco é a de 0,75 desvio-padrão. Dessa forma, trabalhamos em sua proximidade.

A estratégia 3, por seu turno, consistiu em abrir operações (comprar ou vender o *spread*) quando a série normalizada estivesse acima ou abaixo de 3,0 desvio-padrão. O fechamento da operação era realizado quando o *spread* normalizado voltasse para o intervalo de 0,5 desvio-padrão (positivo ou negativo) ou a operação era encerrada caso o *spread* normalizado alcançasse 6,0 desvio-padrão. A motivação dessa banda é ampliar um pouco a primeira banda para avaliar se um pouco mais de tolerância na banda permite melhores resultados.

Na sequência, apresentamos a tabela 3 abaixo. Ela apresenta um resumo dos principais resultados obtidos por cada estratégia realizada e assim podendo ser comparadas entre elas.

Quanto ao Índice de Sharpe médio (média entre todos os índices de Sharpe calculados por pares negociados) temos que o melhor resultado foi encontrado na estratégia 3 com valor de 0,1557 (a.a.). O segundo melhor resultado foi da estratégia 1 com 0,0759 (a.a.) e por fim a estratégia 2 com 0,0437 (a.a.).

Em termos de rentabilidade média anualizada, temos que a melhor rentabilidade média apresentada é dada pela estratégia 2 com 0,84% a.a. enquanto a estratégia 1 e 3 apresentaram valores negativos de -0,35% e -0,50% a.a. respectivamente. Uma nota que deve ser feita é que essa média é uma *proxy* para a esperança matemática das operações. Todas as três estratégias apresentam valores dentro do campo de rentabilidade positiva e dentro do campo de rentabilidade negativa. A média mostra a predominância e cria a expectativa da inclinação da curva de longo prazo de retorno acumulado.

Tabela 3: Comparativo Entre as Estratégias

	Estratégia 1	Estratégia 2	Estratégia 3
Abertura	$\pm 2,5 \sigma$	$\pm 1,0 \sigma$	$\pm 3,0 \sigma$
Fechamento	$\pm 0,5 \sigma$	$\pm 0,5 \sigma$	$\pm 0,5 \sigma$
Stop	$\pm 5,0 \sigma$	$\pm 3,0 \sigma$	$\pm 6,0 \sigma$
Índice de Sharpe Médio	0,0759	0,0437	0,1557
Rentabilidade Média	-0,35%	0,84%	-0,50%
% Positivas	44,74%	44,40%	46,91%
% Negativas	55,26%	55,60%	53,09%
Média de Dias	31,83	17,89	39,87
Retorno Acumulado	13,04%	42,80%	5,40%
Desvio-Padrão do Retorno	6,99%	12,66%	5,36%

Fonte: Elaboração Própria.

No que diz respeito ao percentual de operações positivas, temos que o melhor resultado obtido foi o da estratégia 3 com 46,91%, seguido pela estratégia 1 de 44,74% e por fim o da estratégia 2 de 44,40%. Os percentuais de operações negativas são diametralmente opostos.

Em termos de média de dias em operação, que é um bom indicador de custo de carregamento das operações, temos que a melhor estratégia foi a 2 com cerca de 18 dias de carregamento enquanto a estratégia 1 teve cerca de 32 dias e a estratégia 3 cerca de 40 dias.

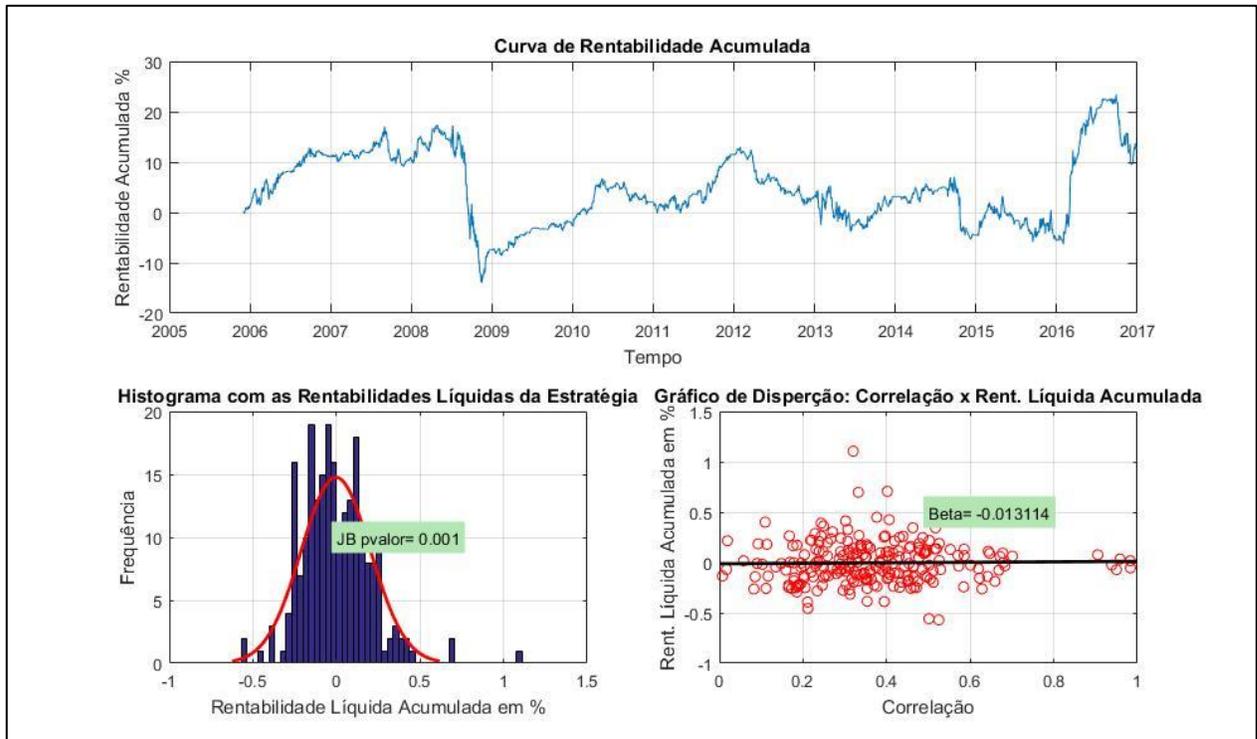
Por fim, o resultado de maior importância, dado pelo retorno acumulado construído por uma carteira de igual ponderação de pares, mostrou que a melhor estratégia foi a 2 com 42,80% de retorno acumulado seguido pela estratégia 1 com 13,04% de retorno acumulado e por fim 5,40% de retorno acumulado dado pela estratégia 3. Todavia, a estratégia de maior retorno acumulado também foi a que apresentou maior risco conforme pode ser visualizado na linha de desvio-padrão do retorno acumulado.

Na sequência temos as figuras 3, 4 e 5 que apresentam as curvas de retorno acumulado de cada estratégia, a correlação de retorno entre os pares e o histograma do retorno das estratégias.

A figura 3 apresenta os resultados da estratégia 1. Nela podemos ver que o máximo de rentabilidade acumulada que houve foi no período de 2016 com mais de 20%. O pior momento foi no final de 2008 com perdas maiores de 10%. O histograma junto ao

valor apresentado pelo teste Jarque-Bera para distribuição normal mostra que a distribuição é não normal. Podemos encontrar também através do diagrama de dispersão que pares os cointegrados não apresentam relação direta com elevada correlação.

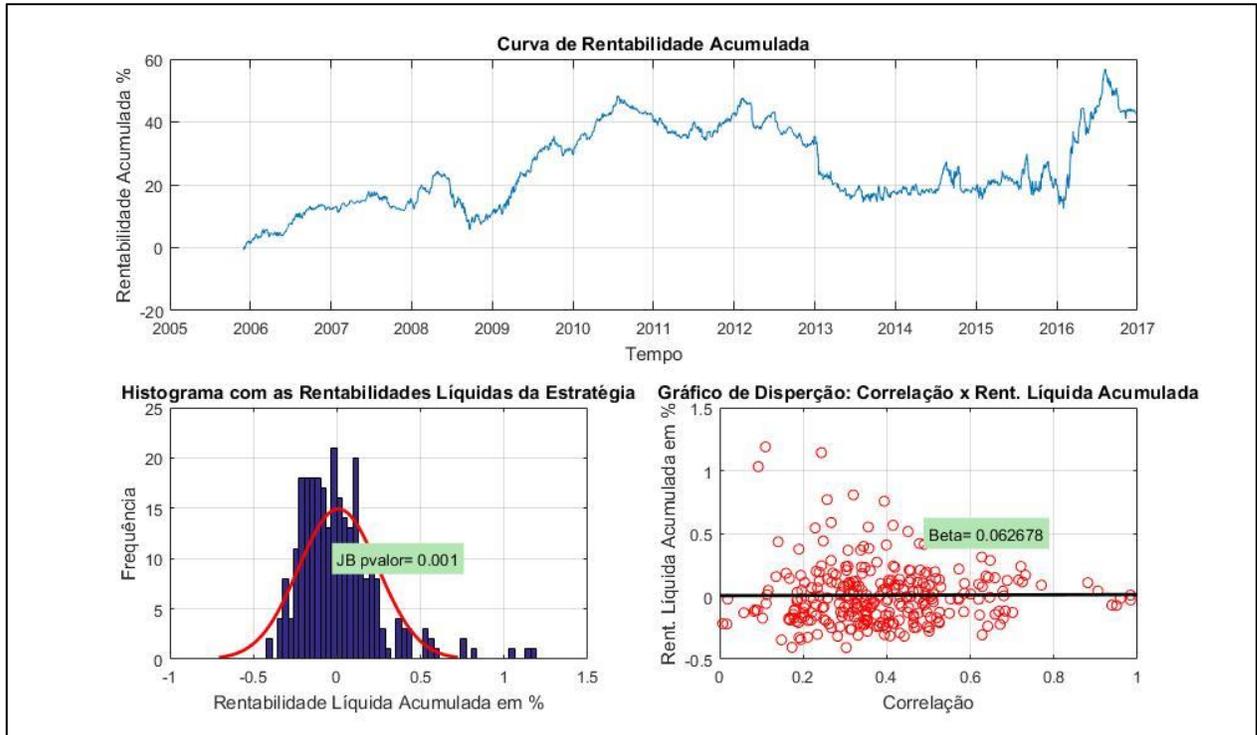
Figura 3 – Apresentação Estratégia 1.



Fonte: Elaboração Própria.

A figura 4 apresenta a curva de rentabilidade acumulada para a estratégia 2. Nela podemos ver que o máximo de rentabilidade acumulada que houve foi no período de 2016 com mais de 50%. O pior momento foi justamente no início da série, no qual a rentabilidade acumulada é zero. O histograma junto ao valor apresentado pelo teste Jarque-Bera para distribuição normal mostra que a distribuição normal deve ser rejeitada. Podemos encontrar também através do diagrama de dispersão que pares os cointegrados não apresentam relação direta com elevada correlação.

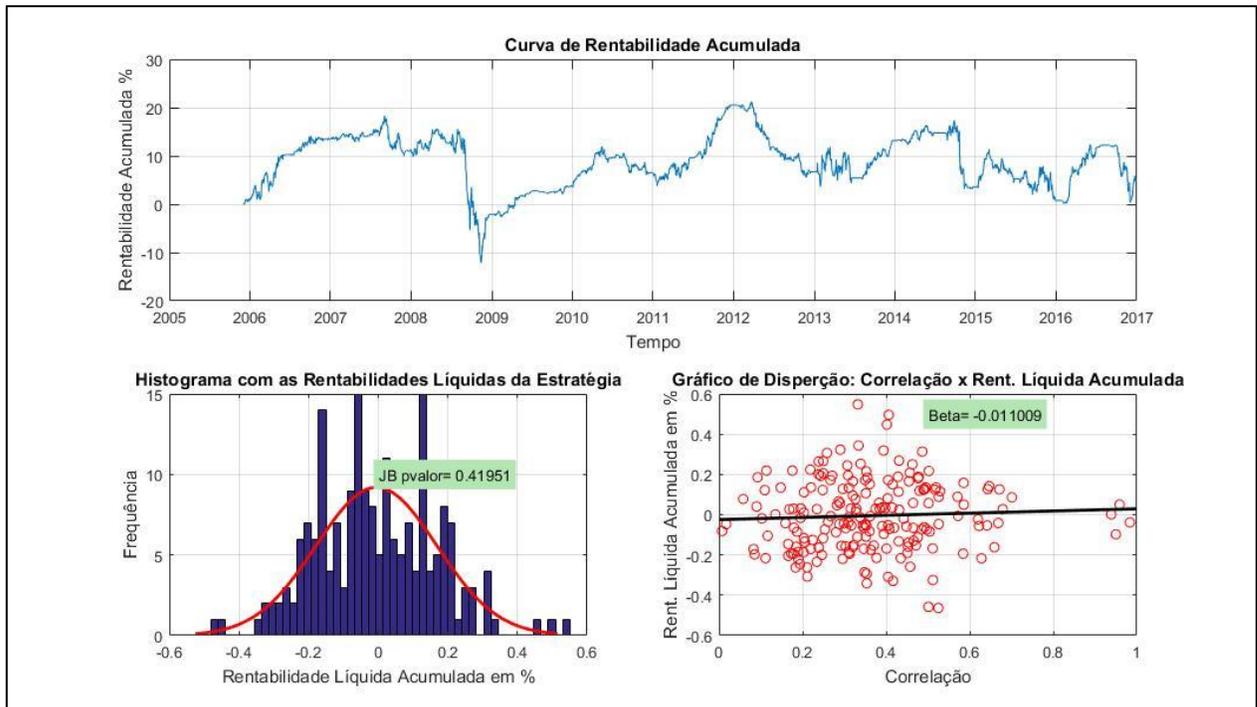
Figura 4 – Apresentação Estratégia 2.



Fonte: Elaboração Própria.

A figura 5, por seu turno, apresenta a curva de rentabilidade acumulada para a estratégia 3. Nela podemos ver que o máximo de rentabilidade acumulada que houve foi no período de 2012 com mais de 20%. O pior momento foi no final de 2008 com perdas maiores de 10%. O histograma junto ao valor apresentado pelo teste Jarque-Bera para distribuição normal mostra que a distribuição normal não pode ser rejeitada. Podemos encontrar também através do diagrama de dispersão que pares os cointegrados não apresentam relação direta com elevada correlação.

Figura 5 – Apresentação Estratégia 3.



Fonte: Elaboração Própria

#### 4 CONCLUSÃO

O trabalho aqui aqui exposto buscou através da técnica difundida em econometria de séries temporais, Cointegração, analisar a estratégia de pairs trading para o período entre 2005 a 2016. Os resultados encontrados apresentam estratégias com retornos positivos para o horizonte temporal analisado e se mostram como uma alternativa viável para realizar operações no mercado financeiro.

Entre as estratégias avaliadas, o resultado encontrado foi o de confirmar a hipótese de Vidyamurthy (2011). De fato, a estratégia mais rentável foi o de abrir operações na banda perto de  $0,75 \sigma$ . Além disso a estratégia apresentou uma vantagem expressiva em utilizar prazos menores de carregamento o que ao fim enseja menos custos. As outras duas estratégias se mostraram positivas, todavia, com rentabilidades bem inferiores. Um ponto que cabe destaque é que durante o período de análise, tivemos duas crises que impactaram diretamente o mercado financeiro sendo elas a crise *sub-*

*prime* em meados de 2008 e a crise que culminou no impeachment da presidente Dilma Rousseff que vai de 2014 a 2016. Isso ao fim, certamente, afetou as rentabilidades obtidas tendo em vista que em períodos de crise, temos o aumento de volatilidade, mudanças estruturais na série e maiores desvios da normalidade.

Por fim, temos que o trabalho inova ao informar o resultado prático de para a estratégia de cointegração em *pairs trading* para um período muito recente de análise. Investigações futuras devem ser feitas na tentativa de maximizar as bandas de abertura e tratar os parâmetros média e desvio padrão utilizando janelas móveis além de outros tipos de inovações que surjam da análise de séries temporais.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C.; DIMITRU, A. **The Cointegration Alpha: Enhanced Index Tracking and Long-Short Equity Market Neutral Strategies**. ISMA Discussion Papers in Finance. 2002.

ALEXANDER, C. **Modelos de Mercados. Um guia para a análise de informações financeiras**. Editora Saraiva. 2005.

ANDRADE, S.C; PIETRO, V.D; SEASHOLES M.S. **Understanding the Profitability of Pairs trading. Working Paper**, UC Berkeley Haas School. 2005.

BARBERIS, N.; THALER, R. **A Survey of Behavioral Finance. Handbook of the Economics of Finance, G.M. Constantinides, M. Harris e R. Stulz**. 2003.

BARROS, L.; SILVEIRA, A.; OLIVEIRA, R; YOSHINAGA, C. **Finanças Comportamentais: Uma Introdução**. VII SEMEAD. 2004.

BONDT, W. F. M. D.; THALER R. **Does the stock market overreact? Journal of finance, Volume 40, Issue 3, Papers and Proceeding of the Forty-Third Annual Meeting American Finance Association**. Dallas, Texas, p. 793-805. 1984.

BUENO, R. D. L. D. S. **Econometria de Séries Temporais**. São Paulo: CENGAGE, 2008.

BURGES, A. N. **Using cointegration to hedge and trade international equities**. In Sons, J. W., editor, Applied Quantitative Methods for Trading and Investment, pages 41–69. 2003.

CALDEIRA, J. F. **Arbitragem Estatística, Estratégia Long-Short Pairs trading, Abordagem com Cointegração Aplicada ao Mercado de Ações Brasileiro**. ANPEC SUL, 2010.

CHAN, E. P. **Quantitative Trading**. New York: John Wiley & sons. 2009.

DUNIS, C. L. AND HO, R. **Cointegration portfolios of european equities for index tracking and market neutral strategies**. Journal of Asset Management, n. 1, p.33–52. 2005.

DE LONG, J. BRADFORD & SHLEIFER, ANDREI & SUMMERS, LAWRENCE H. & WALDMANN, ROBERT J. **Noise Trader Risk in Financial Markets**. Scholarly Articles 3725552, Harvard University Department of Economics. 1990.

ENDERS, W. **Applied Econometric Times Series**. New York: John Wiley & sons. 2002.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. **Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing**. *Econometrica*. v. 55, p. 251-276, 1987.

FAMA, E. F.; **Efficient capital markets: a review of theory and empirical work**. *Journal of Finance*, Cambridge, v.25, p.383-417, 1970.

FAMA, E. F.; FRENCH, K. R. **Permanent and Temporary Components of Stock Prices**. *Journal of Political Economy*. v. 96, nº 2, p. 246-273, 1988.

GATEV, E. ;GOETZMANN, W. N.; ROUWENHORST, K. G. **Pairs trading: Performance of a Relative Value Arbitrage Rule**. Working Paper, Yale University, 2003.

GATEV, E., GOETZMANN, G. W., & ROUWENHORST, K. 2006. **Pairs trading: Performance of a Relative Value Arbitrage Rule**. *The Review of Financial Studies*, 19, 797–827.

JACOBS, B., Levy, K., & Starer, D. **Long-Short Equity Investing**. *Journal of Portfolio Management*, n.1, p.52-64, 1993.

JEGADEESH, N. **Evidence of Predictable Behavior of Security Returns**. *The Journal of Finance*, V.45, n.3, p.881-898, 1990.

JENSEN, M. C. **The performance of mutual funds in the period 1945-1964**. *Journal of Finance*, v. 23, n.2, p.389-416, 1968.

JEGADEESH, N.; TITMAN, S. **Returns to buying winners and selling losers: Implications for stock market efficiency**. *Journal of Finance*. V. 48, p. 65-91, 1993

JEGADEESH, N.; TITMAN, S. **Short-Horizon Return Reversals and the Bid-Ask spread**. *Journal of Financial Intermediation*. v. 4, p116-132,1995.

KABASHIMA, E. M. **Pairs trading: Aplicação no mercado acionário brasileiro**. Dissertação de Mestrado, FGV SP, 2005.

LAMONT, O. W.; THALER, R. H. **Anomalies: The Law of One Price in Financial Markets**. *The Journal of Economic Perspectives*, n.4, V.17, p.191-202, 2003.

LIN, Y.; MCRAE, M. GULATI, C. **Loss Protection in Pairs trading Through Minimum Profit Bounds: A Cointegration Approach**. *Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences*. V. 2006, p 1-14, 2006.

LONGO, E. M. L. ***Pairs trading* Uma aplicação ao Mercado Acionário Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, FGV SP, 2008.

LOWENSTEIN, R. **When Genius Failed: The Rise and Fall of Long-Term Capital Management**. Random House. 2000.

MACKINNON, J. G. **Critical values for cointegration tests**. In: Engle, R. F.; Granger, C. W. J. Long-run economic relationship: reading on cointegration. Oxford: Oxford, 1991.

MARKOWITZ, Harry M. **Portfolio selection**. Journal of Finance, 1952.

MARKOWITZ, H. 1959. **Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments**. New York: JohnWiley & Sons.

NATH, P. **High Frequency *Pairs trading* with U.S. Treasury Securities: Risk and Rewards for Hedge Funds**. Working Paper, London Business School, 2003.

SHARPE, W. 1964. **Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk**. Journal of Finance, 19, 425–442.

TAKIMOTO, E. **A Estratégia *Pairs trading* no Mercado de Ações Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, IBMEC SP, 2007.

VIDYAMURTHY, G. ***Pairs trading: Quantitative Methods and Analysis***. Canada: John Wiley & Sons, 2004.