

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS

Paulo Roberto Dall'Agnol Júnior

**Estratégia *Pairs Trading*: Combinação de Avaliação Relativa e Arbitragem Estatística**

Porto Alegre  
2013

**Paulo Roberto Dall'Agnol Júnior**

**Estratégia *Pairs Trading*: Combinação de Avaliação Relativa e Arbitragem Estatística**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Orientador: Prof. Dr. João Fróis Caldeira

**Porto Alegre  
2013**

**Paulo Roberto Dall’Agnol Júnior**

**Estratégia *Pairs Trading*: Combinação de Avaliação Relativa e Arbitragem Estatística**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Conceito final:

Aprovado em ..... de ..... de .....

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr.

---

Orientador - Prof. Dr. João Fróis Caldeira

## RESUMO

A aplicação de técnicas de arbitragem estatística em estratégias *pairs trading* tem sido objeto de uma quantidade cada vez maior de estudos. Neste trabalho propomos o uso de séries temporais de indicadores fundamentalistas em substituição as séries temporais de preço, tradicionalmente utilizadas para esse tipo de estratégia. Aplicamos testes de cointegração em séries de P/L e P/VPA para identificar pares de ações a serem utilizados em estratégias *pairs trading*. Tais indicadores foram utilizados também na determinação dos sinais de trade. Uma estratégia baseada apenas em preço foi simulada para possibilitar a comparação com a abordagem tradicional. Baseados em um indicador de rentabilidade apurado dentro da amostra, selecionamos pares de ações para compor três portfólios *pairs trading*. Testamos 69 ativos negociados na Bovespa, de janeiro de 2009 a Dezembro de 2012. Obtivemos rentabilidade média anual de 10,12% para estratégia de Preço, 4,96% para P/L e 10,86% para P/VPA, Índice de Sharpe de 1,62, 0,68 e 1,51, respectivamente, além de baixa correlação com o mercado.

**Palavras-chave:** *Pairs trading*, Arbitragem estatística, Cointegração, Estratégia neutra ao mercado.

## ABSTRACT

The application of statistical arbitrage techniques in pairs trading strategies has been subject of an increasing amount of works. In this work we propose the usage of stocks multiples time series to replace price time series, traditionally used for this type of strategy. We applied cointegration tests in P/E and P/BV series to identify stock pairs to be used in pairs trading strategies. These stock multiples were also used to set the trading signals. A price-based strategy was tested to allow the comparison with the traditional approach. Based on a return index defined in sample, we selected stock pairs to compose three pairs trading portfolios. We tested 69 stocks traded in Sao Paulo Stock Exchange, ranging from January 2009 to December 2012. We achieved annual average return of 10,12% for the price strategy, 4,96% for P/E and 10,86% for P/BV, Sharpe ratio of 1,62, 0,68 and 1,51, respectively, besides low correlation with the market.

**Keywords:** Pairs trading, Statistical arbitrage, Cointegration, Market neutral strategy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Security market line (SML).....	15
Figura 2 - Diversificação do Portfólio.....	16
Gráfico 1 - Séries de P/VPA de MRVE3 e BRAP4.....	32
Gráfico 2 - Spread Padronizado de MRVE3 e BRAP4.....	33
Gráfico 3 - Rentabilidade Líquida acumulada.....	41
Gráfico 4 - Comparação de Investimentos.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual de pares cointegrados.....	35
Tabela 2 - Estatísticas das operações .....	36
Tabela 3 - Rentabilidade líquida por par .....	37
Tabela 4 - Rentabilidade líquida por estratégia .....	38
Tabela 5 - Rentabilidade líquida de pares comuns .....	39
Tabela 6 - Estatísticas anuais das estratégias .....	39
Tabela 7 - Estatísticas gerais das estratégias .....	40

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>08</b>
<b>2</b>	<b>DEFINIÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
4.1	OBJETIVO GERAL .....	13
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>5</b>	<b>REVISÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
5.1	PRECIFICAÇÃO DE ATIVOS .....	14
5.1.1	<b>Capital Asset Pricing Model – CAPM</b> .....	14
5.1.2	<b>Arbitrage Pricing Model – APM</b> .....	17
5.1.3	<b>Modelos multifatoriais para risco e retorno</b> .....	19
5.1.4	<b>Modelos de regressão</b> .....	20
5.2	AVALIAÇÃO DE ATIVOS .....	21
5.2.1	<b>Avaliação por fluxo de caixa descontado</b> .....	21
5.2.2	<b>Avaliação relativa de ativos</b> .....	23
5.3	ARBITRAGEM ESTATÍSTICA E <i>PAIRS TRADING</i> .....	24
5.3.1	<b>Cointegração</b> .....	26
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE ESTIMAÇÃO</b> .....	<b>28</b>
6.1	PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS .....	28
6.2	DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE TRADE .....	29
6.2.1	<b>Manipulação dos dados</b> .....	29
6.2.2	<b>Identificação dos pares possíveis</b> .....	30
6.2.3	<b>Estratégia de trade</b> .....	31
6.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	35
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>46</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Técnicas de arbitragem estatística, como o *pairs trading*, foram originalmente motivadas por estudos que defendem a previsibilidade dos preços e a existência de relações de longo prazo no mercado de ações. Ao considerar essa hipótese, atingir uma relação risco retorno superior ao mercado se torna possível. Motivo pelo qual, provavelmente, a noção de reversão a média vem recebendo considerável atenção na literatura financeira nos últimos anos.

Entre as estratégias mais difundidas, o *pairs trading* tem o objetivo de capturar distorções na relação de longo prazo do preço de duas ações. Essa técnica consiste em comprar um ativo e vender outro, simultaneamente, de tal forma que o portfólio resultante não tenha exposição líquida aos movimentos direcionais de mercado. A característica de neutralidade permite que a estratégia tenha sucesso tanto no mercado em queda quanto no mercado em alta, contribuindo na consistência dos resultados. Por outro lado, qualquer erro no processo de estimação pode levar a resultados indesejados.

Perlin (2009) e Caldeira (2013) argumentam que o *pairs trading* também se coloca como uma forma de testar a hipótese de mercado eficiente (HME). Dado que o comportamento futuro de uma série temporal pode ser potencialmente previsto, utilizando dados históricos, a noção de reversão a média desafia a HME, que descreve o preço de ações como um processo de passeio aleatório.

A estratégia *pairs trading* pode ser empregada de diferentes formas pelos agentes de mercado. Sistemas computadorizados possibilitam que as operações sejam executadas de forma automática, sem intervenção humana. É possível, também, que os *outputs* do modelo sejam utilizados como informação adicional no processo de tomada de decisão, cabendo aos agentes decidir se, e como, as operações serão executadas.

A avaliação do mercado em que se pretende utilizar estratégias de arbitragem estatística, como o *pairs trading*, também é oportuna. A liquidez, que aumenta, também, com a popularização do mercado, tem papel importante tanto no processo de estimação quanto na execução das operações. Além disso, o cenário econômico define a atratividade desse tipo de estratégia em relação às demais opções de investimento.

No mercado financeiro brasileiro, a redução da taxa de juros, nos últimos anos, impulsionou o crescimento do número de investidores. A regulamentação mais rígida e a melhora das práticas dos agentes de mercado também ajudam a explicar esse crescimento, já que facilitaram a compreensão dos produtos e elevaram a segurança e transparência do mercado como um todo.

De qualquer forma, no atual cenário econômico, apesar da taxa de juros real se manter positiva no Brasil, não há alternativa óbvia para se obter retorno superior a inflação. A renda fixa e a poupança, por exemplo, podem não garantir a manutenção do poder de compra de investidores de média e alta renda. Isso se deve ao fato de que a cesta de produtos e serviços, geralmente consumidos por tais investidores, sofre inflação diferente da medida pelo IPCA. A renda variável, por outro lado, possibilita retornos mais altos, apesar da alta volatilidade. Porém, tem sido diretamente afetada pelo fraco desempenho econômico do país. Além disso, o recente aumento da intervenção do governo na economia tem causado queda significativa no valor de mercado de diversas empresas, elevando o risco.

Visto que o cenário atual da economia brasileira tem afetado de maneira acentuada o desempenho do Ibovespa, fica evidente a necessidade de se utilizar estratégias que reduzem o risco direcional do mercado. Assim, é possível tornar a renda variável uma alternativa menos extrema com relação aos investimentos financeiros mais tradicionais no Brasil, como a poupança e a renda fixa, que perderam atratividade devido à queda na taxa de juros e aumento dos níveis de inflação.

Nesse cenário, a estratégia *pairs trading* se coloca como uma alternativa adequada, já que é neutra ao mercado. Além disso, a baixa necessidade de caixa para sua implementação permite que ela seja executada com o objetivo de alavancar a rentabilidade de um portfólio já constituído.

## 2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

No mercado de ações, o reflexo das incertezas no cenário econômico pode se dar através do aumento da volatilidade dos ativos, causando alteração nos preços apesar da manutenção dos fundamentos. Nesse cenário, torna-se oportuna a utilização de estratégias que buscam anular as oscilações direcionais do mercado, como o *pairs trading*.

*Pairs trading* é uma estratégia que busca ser neutra ao mercado na sua forma mais primitiva. Os portfólios neutros ao mercado são construídos utilizando pares de ativos, consistindo em uma posição comprada em um ativo e uma posição vendida em outro, a uma taxa predeterminada (VIDYAMURTHY, 2004).

Segundo Gatev et al. (2006), essa estratégia de minimização de risco surgiu nos anos 80, quando um grupo de físicos, matemáticos e cientistas da computação foi formado por Nunzio Tartaglia a fim de desvendar as oportunidades de arbitragem no mercado de ações. Eles utilizaram métodos estatísticos sofisticados e programas de operação automatizada, que chegaram a render 50 milhões de dólares para o Morgan Stanley Group em 1987.

A tomada de decisão em operações de *pairs trading* pode ser baseada em dois modelos de avaliação. O primeiro, a arbitragem estatística (*statistical arbitrage*), definido por Burgess (1999) como a generalização da arbitragem “sem risco”. A arbitragem “sem risco”, ou tradicional, consiste na compra e venda simultânea de um mesmo ativo em mercados diferentes a fim de capturar a distorção de preço entre os mercados. Para Ruppert (2010), diferente da arbitragem tradicional, a arbitragem estatística significa uma oportunidade onde o lucro é apenas provável, não garantido.

A segunda abordagem é baseada na avaliação relativa dos ativos. Para Damodaran (2002), na avaliação relativa, o valor de um ativo é derivado da precificação de ativos comparáveis, padronizados usando uma variável comum, como lucros, fluxos de caixa, patrimônio líquido, ou receitas. Dessa forma, múltiplos são utilizados para estabelecer a distorção de preço entre dois ativos semelhantes, abrindo espaço para as operações de *pairs trading*.

A aplicação de estratégias *pairs trading* com ações da Bovespa tem sido objeto de estudo nos últimos anos, por exemplo, Perlin (2009), Caldeira (2013) e

Caldeira e Moura (2013). Os resultados obtidos foram satisfatórios, porém, não foi encontrado nenhum estudo com aplicação de avaliação relativa em suas estratégias, apenas arbitragem estatística. Apesar disso, Nadal (2009) testou a aplicação de avaliação relativa na construção de portfólios com o objetivo de superar o índice Bovespa, comprovando a tendência de melhor desempenho de ativos com múltiplos mais atrativos. Diferente dessas aplicações, este estudo testa a utilização de múltiplos fundamentalistas em modelos de arbitragem estatística.

A aplicação de estratégias de *pairs trading*, através de modelos estatísticos e com horizonte de médio e longo prazo, se torna arriscada, dado que a correlação histórica de dois ativos pode deixar de existir, caso os fundamentos dos ativos se distanciem. A avaliação relativa na sua forma mais pura, por outro lado, justifica uma posição comprada no ativo com múltiplos mais atrativos, porém, a distância entre essas variáveis pode ser histórica, ocasionada por fundamentos que não estão ao alcance desse tipo de avaliação.

Dado as limitações de cada abordagem, é comum que gestores de fundos utilizem dados estatísticos para visualizar desvios na relação entre preços de dois ativos e, de forma simultânea, avaliem a manutenção dos fundamentos. Apesar disso, a avaliação fundamentalista geralmente não é parametrizada e não utiliza necessariamente a avaliação relativa.

Este estudo pretende investigar a possibilidade de utilizar medidas estatísticas e indicadores fundamentalistas através da integração de arbitragem estatística e avaliação relativa em estratégias *pairs trading*.

### 3 JUSTIFICATIVA

Atualmente o avanço da tecnologia facilitou o acesso e a utilização de ferramentas estatísticas que servem como parâmetro em operações *pairs trading*. Porém, uma avaliação fundamentalista eficiente ainda depende de uma estrutura complexa e cara.

Esse estudo pretende testar estratégias parametrizadas, utilizando dados fundamentalistas. Sendo assim, tem grande utilidade para investidores e gestores que carecem de recursos ou tempo suficientes para realizar operações *pairs trading*, com embasamento fundamentalista, além do estatístico.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Verificar o retorno de uma estratégia de *pairs trading* com ações do Ibovespa utilizando o conceito de cointegração aplicado a séries temporais de indicadores fundamentalistas.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estruturar portfólios com base na teoria de cointegração e avaliação relativa.
- b) Criar um algoritmo de trade para definir o padrão de abertura e fechamento das operações
- c) Avaliar retorno da estratégia em relação ao mercado.

## **5 REVISÃO TEÓRICA**

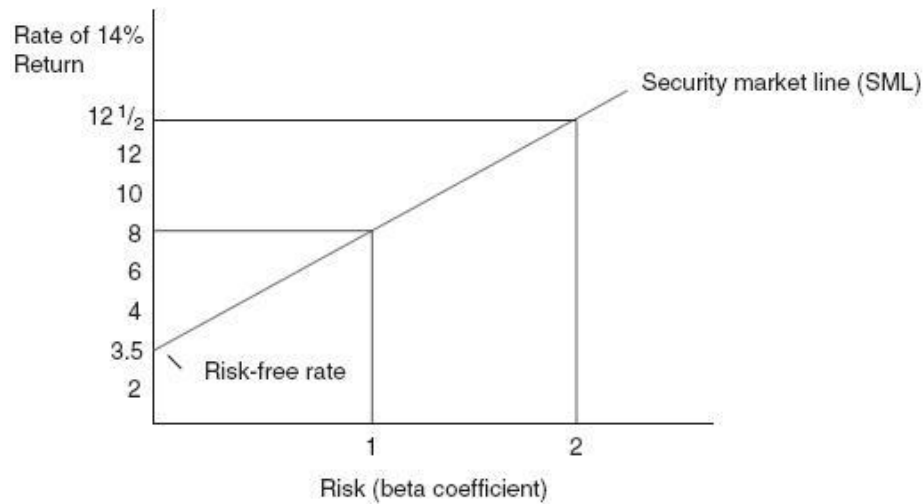
### **5.1 PRECIFICAÇÃO DE ATIVOS**

O administrador financeiro precisa ser capaz de construir um portfólio que atenda ao retorno esperado com o menor risco possível. Nesse cenário, os modelos de precificação de ativos são ferramentas importantes para mensurar riscos e seus respectivos prêmios em relação ao mercado. Essa sessão irá abordar os três modelos mais difundidos, Capital Asset Pricing Model (CAPM), Arbitrage Pricing Model (APM) e os Modelos Multifatoriais para risco e retorno, além dos Modelos de Regressão, que, apesar de menos difundidos, têm importância para este estudo.

#### **5.1.1 Capital Asset Pricing Model – CAPM**

Definido por Sharpe (1964), o modelo CAPM é uma representação da visão do mercado de capitais que busca representar uma relação linear entre risco e retorno. Utilizando a linha de mercado de títulos (LMT), ou Security market line (SML), conforme figura a seguir:

Figura 1 - Security market line (SML)



Fonte: mistakestrading.com

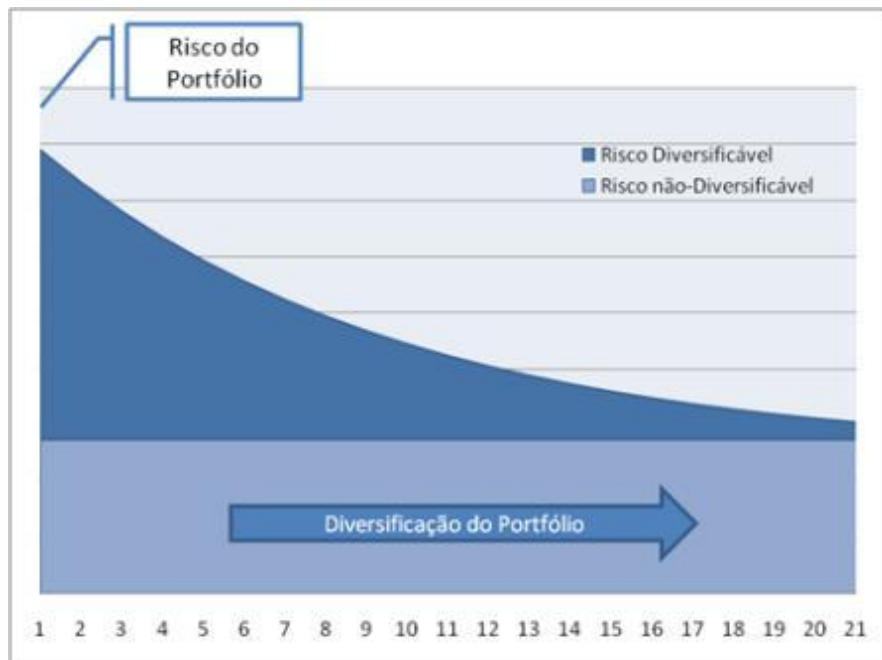
Em resumo, o modelo possui as seguintes suposições:

- Não há custos de transação.
- Todos ativos são negociados.
- Os ativos são infinitamente divisíveis.
- Todos investidores possuem acesso à mesma informação.
- O investidor poderá optar por alocar sua carteira em apenas um dos ativos, livre de risco ou portfólio de mercado, ou combiná-los, refletindo preferências e aversão a risco.

A teoria de Markowitz (1952), afirma que ao elevar o número de ativos em uma carteira, há uma redução na variância do portfólio, dada a eliminação parcial do risco específico do ativo individual, chamado de risco não sistemático ou risco diversificável. Conforme demonstra a Figura 2:



Figura 2 - Diversificação do Portfólio



Fonte: solidez.com.br

Dessa forma, na ausência de custos e impeditivos para tal, o investidor irá diversificar ao máximo seu portfólio, incluindo não somente todos os ativos do mercado, mas também na mesma proporção. Eliminará, portanto, todo o risco diversificável.

Portanto, segundo Damodaran (2002), o risco de qualquer ativo para um investidor é o risco adicionado por esse ativo em seu portfólio global. Ele explica que para avaliar, então, o risco de um ativo individual em relação ao mercado, foi criado o coeficiente beta ( $\beta$ ).

$$\text{Beta de um ativo } i = \frac{\text{Covariância do ativo } i \text{ no portfólio de mercado}}{\text{Variância do portfólio de mercado}} = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2} \quad (1)$$

O beta do portfólio de mercado será sempre igual a 1. Os ativos com mais risco em relação à média irão apresentar valores superiores a 1, já os ativos com menos risco em relação à média irão apresentar valores inferiores a 1. O ativo livre de risco terá beta zero.

A equação do modelo CAPM deriva do fato de que todo investidor possui uma combinação de ativo livre de risco e portfólio de mercado. Assim, o retorno esperado de um ativo tem relação linear com seu beta:

$$E(R_i) = R_f + \beta_i[E(R_m) - R_f] \quad (2)$$

Onde

$E(R_i)$  = Retorno esperado do ativo i

$R_f$  = Taxa livre de risco<sup>1</sup>

$E(R_m)$  = Retorno esperado do portfólio de mercado

$\beta_i$  = Beta do ativo i

Em resumo, no CAPM todo o risco de mercado é capturado em um beta medido relativamente ao portfólio de mercado que, pelo menos na teoria, deveria incluir todos os ativos negociados no mercado, na proporção de seus valores de mercado (DAMODARAN, 2002).

### 5.1.2 Arbitrage Pricing Model – APM

Dadas as restrições do CAPM em relação a custos de transação e informações privadas, além de sua dependência relacionada ao portfólio de mercado, o modelo era visto com certo ceticismo pela área financeira. Ross (1976) propôs um modelo alternativo ao CAPM, chamado de *Arbitrage Pricing Model* (APM).

Segundo Damodaran (2002), se os investidores podem investir sem risco e ganhar mais do que a taxa livre de risco, significa que há uma oportunidade de arbitragem. Ele explica que a premissa do APM é que os investidores vão aproveitar oportunidades de arbitragem e eliminá-las durante o processo. Se um portfólio oferece um retorno maior para o mesmo nível de risco de outro, então o investidor comprará este e venderá aquele portfólio. Dessa forma, irá lucrar a diferença sem correr nenhum risco. O Aumento da demanda pelo portfólio que possui maior retorno deverá causar elevação do seu nível de preços, até que ambos os portfólios apresentem o mesmo retorno.

Tanto o CAPM quanto o ATM iniciam fragmentando risco em sistemático e não sistemático. O primeiro, relacionado a riscos que afetam o mercado como um todo, por exemplo, taxa de juros, inflação e câmbio. O segundo, se refere aos riscos específicos de uma empresa ou setor.

A grande diferença, porém, é que o ATM possibilita fragmentar as fontes de risco sistemático. O modelo assume que cada empresa, ou setor, possui sensibilidade diferente para determinada fonte de risco. A variação do câmbio, por exemplo, pode ser considerada um risco sistemático, porém, tem impacto oposto no retorno de empresas importadoras e exportadoras.

Então, temos que:

$$R_i = E(R_i) + (\beta_{i1}F_1 + \beta_{i2}F_2 + \dots + \beta_{in}F_n) + \varepsilon \quad (3.1)$$

Onde:

$R_i$  = Retorno do ativo i

$E(R_i)$  = Retorno esperado do ativo i.

$\beta_j$  = Sensibilidade do ativo para mudanças inesperadas no fator j

$F_j$  = Mudanças inesperadas no fator j

$\varepsilon$  = Componente de risco específico do ativo

Damodaran (2002), explica que os retornos esperados devem ter uma relação linear com o beta. Então, pode ser escrito da seguinte forma:

$$E(R) = R_f + \beta_1[E(R_1) - R_f] + \beta_2[E(R_2) - R_f] \dots + \beta_k[E(R_k) - R_f] \quad (3.2)$$

Onde:

$E(R)$  = Retorno esperado do portfólio

$R_f$  = Retorno de um portfólio livre de risco

$\beta_j$  = Sensibilidade do investimento a mudanças inesperadas no fator j

$E(R_j)$  = Retorno esperado de um portfólio com beta 1 para o fator j e zero para todos os outros fatores (onde  $j = 1, 2, \dots, n$  fatores)

Para o autor referido acima, o ATM é, em resumo, o modelo onde o risco de mercado é medido relativamente a múltiplas variáveis macroeconômicas inespecíficas, com a sensibilidade do investimento relativa a cada fator sendo medida por um beta. Essa sensibilidade, na maioria das vezes, é assumida com base em dados históricos.

### 5.1.3 Modelos multifatoriais para risco e retorno

Os Modelos Multifatoriais para risco e retorno buscam identificar os fatores estatísticos inespecíficos do modelo de precificação por arbitragem (APM) e substituí-los por fatores econômicos específicos. Assim, o modelo possui fundamento econômico ao mesmo tempo em que preserva a força estatística do modelo de precificação por arbitragem.

Chen, Roll e Ross (1986), testaram se as inovações em variáveis macroeconômicas são riscos recompensados no mercado de ações. Eles sugerem que as seguintes variáveis macroeconômicas são fortemente correlacionadas com os fatores que surgem da análise de fatores: a diferença entre taxas de juros de curto e longo prazo, inflação esperada e inesperada, produção industrial e a diferença entre títulos de baixa e alta classificação de risco.

Nesse modelo, temos que:

$$E(R) = R_f + \beta_{PI}[E(R_{PI}) - R_f] + \beta_I[E(R_I) - R_f] \dots + \beta_\delta[E(R_\delta) - R_f] \quad (4)$$

Onde:

$E(R)$  = Retorno esperado do portfólio

$R_f$  = Retorno de um portfólio livre de risco

$\beta_{PI}$  = Beta relativo às mudanças na produção industrial

$E(R_{PI})$  = Retorno esperado de um portfólio com beta 1 para o fator de produção industrial e zero para todos os outros fatores

$\beta_I$  = Beta relativo às mudanças na inflação

$E(R_I)$  = Retorno esperado de um portfólio com beta 1 para o fator de inflação e zero para todos os outros fatores

Para Damodaran (2002), os custos de migração, do modelo de precificação por arbitragem para um modelo macroeconômico multifatorial, podem ser ligados diretamente aos erros que podem ser cometidos ao identificar os fatores. Os fatores econômicos do modelo podem sofrer mudanças com o tempo, assim como o prêmio de risco associado a cada fator.

#### 5.1.4 Modelos de regressão

Os modelos de regressão são pouco difundidos quando comparados aos modelos tradicionais de precificação de ativos, como o CAPM e o ATM. É raro encontrá-los na literatura voltada para administradores financeiros em geral. De qualquer forma, esses modelos possuem grande importância para esse estudo, já que utilizam a estatística como ferramenta para avaliar a relação de algumas características e múltiplos com os retornos de um ativo.

Para Damodaran (2002, p. 75):

Todos os modelos descritos até agora começam definindo risco de mercado em termos amplos e depois desenvolvem modelos que poderiam medir da melhor forma esse risco de mercado. Todos eles, de qualquer forma, extraem essas medidas de risco de mercado (betas) olhando para dados históricos. Existe uma classe final de modelos de risco e retorno que começa pelos retornos e tenta explicar as diferenças de retornos entre as ações, em longos períodos de tempo, utilizando características como valor de mercado ou múltiplos de preço.

Os modelos de regressão são fundamentados na teoria de que se alguns investimentos rendem consistentemente mais do que outros, então eles devem possuir mais risco. Com base nessa hipótese, os precursores desses modelos afirmam que é possível buscar características comuns entre esses investimentos de maior retorno e considerá-las como medidas ou representações para o risco de mercado.

Fama et al. (1992) aplicou modelos de regressão para testar o modelo CAPM, onde os retornos esperados de um ativo são uma função linear de seus betas de mercado, sendo o beta suficiente para descrever transversalmente os retornos esperados. Foram aplicados testes multivariados em ações da NYSE, AMEX e NASDAQ. Durante o período entre 1963 e 1990, não houve relação entre o beta e o retorno médio das ações. Além de concluir que o beta não parece explicar o retorno médio das ações, o estudo sugere que o risco das ações é multidimensional. Diferente da relação entre beta e retorno médio, as relações univariadas entre retorno médio e tamanho, alavancagem, preço/lucro e preço/valor patrimonial foram fortes.

## 5.2 AVALIAÇÃO DE ATIVOS

Para Damodaran (2002), qualquer ativo, financeiro ou também real, tem um valor. O autor afirma que a avaliação de ativos é útil para uma vasta gama de tarefas, destacando sua importância para:

- a) **Gestão de Portfólio:** o papel da avaliação de ativos nessa tarefa é determinado, em grande parte, pela filosofia de investimento do investidor. A avaliação desempenha papel mínimo para investidores passivos, mas é de grande utilidade para um investidor ativo.
- b) **Análise de Aquisições:** o comprador precisa decidir um valor justo para a empresa alvo antes de fazer uma oferta e a empresa alvo precisa determinar um valor razoável para si mesma antes de aceitar ou rejeitar a oferta.
- c) **Finanças Corporativas:** o valor de uma empresa está diretamente ligado às decisões que ela toma – nos projetos que assume, em como os financia, além da política de dividendos. Entender essa relação é a chave para tomar decisões que elevem o valor e mantenham uma estrutura financeira sensata.

Ainda segundo o autor referido, existe uma ampla gama de modelos de avaliação sendo utilizados. Porém, apesar de frequentemente as suposições serem bem diferentes, possuem características comuns, o que possibilita uma classificação em termos amplos. Para ele, existem três abordagens de avaliação: fluxo de caixa descontado, avaliação relativa e avaliação por direitos contingentes.

### 5.2.1 Avaliação por fluxo de caixa descontado

A avaliação por fluxo de caixa descontado é a abordagem através da qual todas as outras abordagens são construídas. Esta avaliação define o preço de um ativo pelo valor presente de seus fluxos de caixa futuros esperados, dependendo de três variáveis: (1) capacidade de gerar caixa; (2) crescimento esperado dos fluxos de caixa; (3) incerteza associada aos fluxos de caixa.

$$Valor = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{CFt}{(1+r)^t} \quad (5)$$

Onde:

n = vida útil do ativo

CFt = fluxo de caixa esperado no período t

R = taxa de desconto

Os fluxos de caixa variam de acordo com o ativo, dependendo de sua receita, margem, custos, etc. A taxa de desconto deve refletir a taxa livre de risco, risco de falência, custo de capital, entre outros, dependendo do modelo.

Damodaran (2002) explica que na precificação através do fluxo de caixa descontado, se tenta estimar o valor intrínseco de um ativo, baseado em seus fundamentos. Para ele, valor intrínseco é o preço que seria atribuído a uma empresa por uma analista que sabe de tudo, que não apenas estima os fluxos de caixa futuros corretamente, mas também utiliza a taxa correta para descontar esses fluxos, precificando-os com absoluta precisão.

Existem milhares de modelos de fluxo de caixa descontado, tanto pela grande diversidade de ativos, muitas vezes dentro de uma mesma empresa, quanto pela diferente interpretação de cada analista em relação a um mesmo ativo. Apesar disso, para Damodaran (2002), existem três caminhos para a avaliação através do fluxo de caixa descontado: (1) avaliar apenas a participação do capital próprio da empresa; (2) avaliar a empresa como um todo, o que inclui, além do capital próprio, outros detentores de direitos na empresa; (3) avaliar a empresa em pedaços, começando pelas operações e adicionando os efeitos de endividamento e outras obrigações. Enquanto as três abordagens utilizam fluxo de caixa descontado, os fluxos de caixa e as taxas de desconto aplicadas são diferentes em cada um.

É importante destacar a complexidade desse tipo de avaliação. A projeção de fluxos de caixa futuros requer não somente o conhecimento profundo dos fatores internos da empresa, mas também da assertiva projeção de cenários macroeconômicos. A projeção correta dos fluxos de uma empresa que exporta produtos para a China, por exemplo, depende não somente da capacidade produtiva da empresa como também da taxa de câmbio e da demanda naquele país. Além

disso, a taxa de desconto também envolve fatores que variam constantemente, demandando revisão constante do modelo.

### 5.2.2 Avaliação relativa de ativos

A avaliação relativa busca precificar um ativo através da comparação dos preços atribuídos pelo mercado a outros ativos similares. Esse método de análise possui grande popularidade no mercado, principalmente porque necessita de poucas suposições e requer menos tempo para aplicação, quando comparado à avaliação absoluta.

Segundo Damodaran (2002), existem dois componentes na avaliação relativa:

- a) O primeiro é que, para precificar ativos em uma base relativa, os preços precisam estar normalizados, usualmente convertendo preços em múltiplos de lucro, valor patrimonial, ou receita.
- b) O segundo é encontrar empresas similares, o que é difícil de fazer, já que não há duas empresas idênticas e empresas que atuam em um mesmo negócio ainda podem apresentar risco, potencial de crescimento e fluxos de caixa diferentes.

Ainda, para Damodaran (2002, p. 454):

As forças da avaliação relativa também são sua fraqueza. Primeiro, a facilidade com a qual uma avaliação relativa pode ser agrupada, reunindo um múltiplo e um grupo de empresas comparáveis, pode também resultar em estimativas inconsistentes de valor, onde variáveis chave, como risco, crescimento, ou potencial de fluxo de caixa, são ignoradas. Segundo, o fato dos múltiplos refletirem o humor do mercado, também implica que usar a avaliação relativa pode resultar em valores muito altos, quando o mercado está supervalorizando empresas comparáveis, ou muito baixos, quando o mercado está subvalorizando essas empresas.

Na verdade, o enorme número de suposições necessárias para a avaliação absoluta, através de modelos de fluxo de caixa descontado, permanece presente também na avaliação relativa. A diferença é que estas suposições não estão explícitas, mas de alguma forma interferem na avaliação.

A utilização da avaliação relativa é particularmente importante para gestores que têm como objetivo superar a rentabilidade do mercado. É a escolha assertiva de um ativo em detrimento a outro que possibilita ao gestor superar o mercado. Nesse



caso, não há preocupação em saber se o mercado está subvalorizando ou supervalorizando empresas comparáveis.

### 5.3 ARBITRAGEM ESTATÍSTICA E *PAIRS TRADING*

Uma variedade de estratégias e programas de investimento é englobada pelo termo Arbitragem Estatística. Segundo Avellaneda et al. (2008), as características comuns dessas estratégias são:

- a) Os sinais de negociação são sistemáticos, ou baseados em regras, de forma oposta aos baseados em fundamentos.
- b) A posição é de mercado neutro, no sentido de que tem beta zero com o mercado.
- c) O mecanismo para gerar excessos de retorno é estatístico.

Ainda segundo o mesmo autor, a arbitragem estatística tem como antecessor a estratégia de *pairs trading*. Certamente, se referindo as operações *pairs trading* realizadas com base na avaliação relativa.

Estratégias de *pairs trading* baseadas em estudos puramente estatísticos tiveram início em meados dos anos 80, quando o *quant* de Wall Street Nunzio Tartaglia reuniu um grupo de matemáticos, físicos e cientistas da computação. O objetivo da equipe, empregada no banco Morgan Stanley, era desenvolver estratégias quantitativas de arbitragem usando técnicas estatísticas. As estratégias desenvolvidas eram capazes de gerar operações de forma mecanizada e, se necessário, executá-las através de sistemas automatizados.

Uma das técnicas utilizadas pelo grupo envolvia a operação de ativos em pares. O processo consistia em identificar dois ativos cujos preços tivessem tendência de se mover juntos. Os pares eram negociados quando houvesse alguma anomalia na relação, partindo da ideia de que essa anomalia iria se corrigir no futuro. Esse tipo de operação ficou conhecida como *pairs trading*. Em 1989 a equipe se dissolveu e, a atuação de seus membros em outras empresas, disseminou a ideia de *pairs trading* no mercado.

A visão fundamentalista de investimento no mercado de ações tem como objetivo comprar ativos subvalorizados e vender ativos supervalorizados. Porém,

para determinar se um ativo está subvalorizado ou supervalorizado precisamos saber qual é valor real desse ativo, em termos absolutos. A avaliação através de modelos de fluxo de caixa descontado, por exemplo, é capaz de fazer essa determinação, porém, é extremamente complexa e dependente de variáveis que mudam constantemente.

Vidyamurthy (2004, p. 74) decorre a respeito dessa problemática:

O *pairs trading* se propõe a resolver isso utilizando a ideia da precificação relativa; que é, se dois ativos tem características similares, então esses ativos devem ter mais ou menos o mesmo preço. Perceba que o preço específico não é de importância. O preço pode ser errado. O importante é que o preço dos dois ativos seja o mesmo. Se o preço for diferente, pode ser que um dos ativos esteja supervalorizado, o outro ativo esteja subvalorizado, ou uma combinação dos dois.

Estratégia *pairs trading* consiste em abrir uma posição comprada (*long*) no ativo com preço mais baixo e vendida (*short*) no ativo com preço mais alto. A distorção entre os preços é capturada pela noção de *spread*. Quanto maior o *spread*, maior o potencial de lucro. Essa operação é construída de forma a obter beta mínimo, dessa forma, resultando em uma exposição mínima ao mercado e seus movimentos direcionais. Por isso, os retornos da operação não têm relação com os retornos do mercado, o que caracteriza uma estratégia neutra ao mercado.

Para Gatev et al. (2006, p.2), o conceito de *pairs trading* é bastante simples. Para o autor, basta encontrar duas ações cujos preços tenham se movido juntos historicamente e, quando o *spread* entre elas se ampliar, vender o ganhador e comprar o perdedor. Dessa forma, se a história se repetir, os preços vão convergir e o arbitrador irá obter lucro.

Essas estratégias geralmente são conhecidas por apresentarem baixa exposição ao mercado de ações e relativamente baixa volatilidade, propriedades consideradas atrativas. Pelo fato dessas operações envolverem simultaneamente uma posição comprada e uma posição vendida, podem ser chamadas de operações *dollar zero*, já que normalmente demandam pouca ou nenhuma disponibilidade de caixa para serem realizadas.

Segundo Caldeira (2013), algumas questões típicas são analisadas no desenvolvimento de estratégias *pairs trading*, por exemplo, (1) como identificar os pares, (2) quando o portfólio combinado se distancia suficientemente da relação de equilíbrio para abrir uma posição de *pairs trading*, e (3) quando a posição deve ser encerrada. Além disso, afirma que da perspectiva de gerenciamento de risco, é

também importante especificar um período de tempo máximo que se pode manter a posição aberta, nível máximo no valor em risco permitido (VaR) e ainda, se possível, definir medidas de redução de risco, como *triggers* de *stop* de perda.

É possível notar que a identificação dos pares de ações é decisiva para obter sucesso com estratégias de *pairs trading*, além de ser o ponto de partida para formação da estratégia. Gatev et al. (2006) escolheram o par para cada ação encontrando o ativo que minimizava a soma do quadrado das diferenças entre duas séries de preços normalizadas. Simultaneamente, eles formaram outro grupo de pares, escolhidos de forma aleatória. Os resultados das operações *pairs trading* executados no grupo de pares formados de forma não aleatória, que utilizou metodologia baseada inteiramente nos movimentos históricos dos preços, foi superior e estatisticamente significativa em relação ao outro grupo de pares. Perlin (2009) aplicou a metodologia proposta por Gatev a ações negociadas no mercado brasileiro.

Caldeira (2013) simulou estratégias de *pairs trading* utilizando os preços diários de fechamento das 50 ações com maior participação na composição do índice Ibovespa. Os dados obtidos compreenderam o período de janeiro de 2005 a dezembro de 2009. Entre os 1225 pares possíveis encontrados, foram escolhidos 20 para formação de um portfólio, com base em testes de cointegração e Índice Sharpe para o período da amostra. Aplicando regras simples de *trading*, a simulação apresentou rentabilidade média de 17,49% ao ano para uma carteira de pares de ações que se auto financiava.

### 5.3.1 Cointegração

Para Caldeira (2013), a cointegração tem se colocado como uma técnica estatística extremamente poderosa, já que possibilita a aplicação de métodos de estimação simples (tais como mínimos quadrados e máxima verossimilhança) a séries não estacionárias. Na estrutura de estratégias de *pairs trading*, a cointegração incorpora reversão à média, a qual é a mais importante relação estatística requerida para o sucesso desse tipo de operação. Ainda segundo o mesmo autor, quando comparado ao conceito de correlação, a principal vantagem da cointegração está na

possibilidade de usar integralmente o conjunto de informações contidas nas séries financeiras em nível.

Em geral, as séries de preços de ações são não estacionárias. Se encontrarmos pares de ações de modo que, adotando uma posição vendida em uma delas e uma posição comprada na outra, de forma que a série resultante seja estacionária, então as duas séries são ditas cointegradas. Nesse caso, se a série de preços é estacionária, então uma estratégia baseada em reversão à média deve funcionar, enquanto a estacionariedade persistir no futuro (o que não é garantido).

Conforme Vidyamurthy (2004), sejam  $y_t$  e  $x_t$  duas séries de tempo não estacionárias, se em um determinado valor de  $\alpha$ , a série  $y_t - \alpha x_t$  for estacionária, então as duas séries são ditas cointegradas. Essa dinâmica da cointegração é capturada pela noção de correção de erro, segundo a qual os sistemas cointegrados possuem um equilíbrio de longo prazo: a média de longo prazo da combinação linear de duas séries de tempo. Então, se houver um desvio dessa média, uma ou as duas séries de tempo irão se ajustar para restabelecer o equilíbrio de longo prazo.

O teorema de representação de Granger afirma que correção de erro e cointegração são representações essencialmente equivalentes. Assim, sendo  $\varepsilon_{X1t}$  o erro correspondente à equação de cointegração de  $X_{1,t}$  em  $X_{2,t}$ , a representação de correção de erros é:

$$\begin{aligned} X_{1,t} - X_{1,t-1} &= \alpha(X_{1,t-1} - \gamma X_{2,t-1}) + \varepsilon_{X1,t} \\ X_{2,t} - X_{2,t-1} &= \alpha(X_{1,t-1} - \gamma X_{2,t-1}) + \varepsilon_{X2,t} \end{aligned} \quad (6)$$

A parte de correção de erros é dada por  $\alpha(X_{1,t-1} - \gamma X_{2,t-1})$ , onde o desvio do equilíbrio de longo prazo é representado por  $(X_{1,t-1} - \gamma X_{2,t-1})$  e  $\gamma$  é o coeficiente de cointegração. A velocidade com que as séries se ajustam para restabelecer o equilíbrio de longo prazo é dada por  $\alpha$ , que é utilizado para determinar do período ótimo de manutenção de uma estratégia baseada em reversão à média.

Caldeira (2013) aplicou testes de cointegração de Johansen e Engle-Granger para identificar pares de ações a serem usados em uma estratégia *pairs trading*. Os resultados foram satisfatórios não somente pela rentabilidade, mas também pela baixa correlação da estratégia com o mercado e pela sua consistência, reforçando o uso do conceito de cointegração em operações *pairs trading*.

## 6 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE ESTIMAÇÃO

Este capítulo tem como objetivo esclarecer o procedimento metodológico que foi adotado para o desenvolvimento deste estudo.

### 6.1 PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

A primeira fase de coleta de dados se deu através da pesquisa bibliográfica, que teve como objetivo o contato direto com o tema, sua compreensão, definição do problema e forma como ele foi estudado. A segunda fase corresponde à coleta de dados históricos que serviram como base para o estudo.

Foram utilizados dados de 69 empresas, refletindo os ativos do índice Bovespa no primeiro trimestre de 2013. A frequência das séries é diária e período coletado foi de janeiro de 2008 até dezembro de 2012. Os indicadores, P/L e P/VPA, foram selecionados em função de: a) evidências do estudo de Fama (1992); b) utilização pelo mercado; c) presença em relatórios de analistas; d) disponibilidade dos dados.

As séries temporais de preço, P/L e P/VPA foram acessadas através do *software* Economática, uma plataforma profissional com extenso banco de dados. Para facilitar a manipulação dos dados, estes foram exportados para planilhas do *software* Microsoft Excel.

Os preços são ajustados, considerando todos os eventos corporativos do período, como desdobramentos, pagamento de dividendos e juros sobre capital. Utilizamos o preço de fechamento, já que é esse o preço utilizado para marcação a mercado de fundos de investimento.

Os dados diários de P/L, indicador que relaciona o preço ao lucro líquido por ação, foram construídos utilizando o preço de fechamento dividido pelo lucro por ação dos 12 meses anteriores. Dessa forma, os preços que compõe o primeiro trimestre de 2012, por exemplo, são divididos pelo lucro por ação referente ao exercício de 2011.

O P/VPA, indicador que relaciona o preço ao valor do patrimônio líquido por ação, é calculado com base no último valor patrimonial por ação disponível. Os preços que compõem o primeiro trimestre de 2012, por exemplo, foram divididos pelo VPA do dia 31/12/2011.

Seria desejável que os preços fossem normalizados pelos dados econômicos apenas após a data de divulgação das informações financeiras dentro de cada trimestre. Consideremos, como exemplo, uma empresa que tenha divulgado seu resultado do exercício de 2011 no dia 20 de janeiro de 2012, após o fechamento do mercado. Nesse caso, o P/VPA do dia 20 estaria considerando o VPA de 30/09/2011 e, somente a partir do dia 21, onde a informação já era conhecida pelo mercado, o preço passaria a ser normalizado pelo VPA de 31/12/2011. Porém, não há essa opção para construção das séries de dados dessa forma no *software* utilizado. Além disso, não há base de dados disponível ao público com informação de datas e horários em que os resultados foram divulgados pelas companhias.

## 6.2 DESENVOLVIMENTO DO ALGORITMO DE TRADE

Devido ao alto volume de informação e complexidade para realizar os testes e analisar os resultados, foi necessário criar um modelo capaz de tratar dados, realizar testes, manipular séries, simular operações e organizar resultados. Para tal função, foi utilizado o *software* Matlab.

A construção do modelo consiste na criação de funções específicas que são organizadas em forma de rotina e posteriormente executadas pelo sistema. Essa capacidade de realizar operações em série possibilitou maior abrangência no número de pares e de períodos testados.

### 6.2.1 Manipulação dos dados

Após a importação das planilhas contendo séries de preço, P/L e P/VPA, é definido o período amostral e período para simulações fora da amostra. Nessa

etapa, são excluídas séries que não estão de acordo com os parâmetros do estudo ou dados que possam gerar distorção nos resultados. Uma função foi criada para tal papel, realizando as seguintes alterações nas séries:

- a) Exclui os dias em que não houve negociação em bolsa.
- b) Exclui ativos que não foram negociados em algum dos dias da amostra.
- c) Exclui ativos com dados indisponíveis no período amostral, para as simulações de P/L e P/VPA.
- d) Exclui ativos com lucro negativo no período amostral, para simulações P/L.
- e) Exclui ativos com valor patrimonial negativo no período amostral, para simulações P/VPA.

Este processo é realizado de forma independente para cada estratégia simulada, de forma que as séries excluídas em cada uma delas pode não ser a mesma. Eliminar os dias sem negociação das séries é importante para evitar erros nos testes de cointegração. Ativos sem negociação diária indicam baixa liquidez, característica indesejável para operações de curto prazo, como o *pairs trading*. Por fim, o sinal negativo nos indicadores fundamentalistas inverte a relação com o preço, de forma que um aumento de prejuízo, por exemplo, seria erroneamente interpretado pelo modelo como uma melhora do indicador P/L.

### 6.2.2 Identificação dos pares possíveis

Para identificar potenciais pares de ativos, foi utilizado o teste de cointegração de Engle-Granger. Esse teste acessa a hipótese nula de não cointegração entre duas séries temporais, resultando em um nível de significância (*pValue*), necessário para rejeitar a hipótese nula, em favor da cointegração. O teste também estima o coeficiente de cointegração e *spread* da série, permitindo estabelecer a relação linear entre as duas séries de preços de ações:

$$P_x - \beta P_y = c\theta \quad (7)$$

Onde:

$P_x$  = preço de  $x$

$P_y$  = preço de  $y$

$\beta$  = coeficiente de cointegração

$c\theta$  = *spread*

Em cada observação da amostra os preços de  $x$  e  $y$  se alteram, alterando também o valor do *spread*. Porém, dado que as duas séries são cointegradas, o *spread* tem característica de reversão a média, o que é fundamental para uma estratégia de *pairstrading*.

O modelo foi programado para repetir o teste entre todos os ativos da amostra, totalizando 2.346 pares possíveis, para 69 ações. Os resultados foram agrupados em 3 planilhas, cada uma contendo determinado resultado (*pValue*, coeficiente de cointegração e *spread*) de todos os testes realizados. Dessa forma, facilitando o acesso aos resultados pelas funções seguintes.

Para que o par seja considerado cointegrado, o nível de significância (*pValue*) deve ser igual ou inferior a 0.05. Dessa forma, programamos uma função que identifica os pares cointegrados através dos resultados armazenados na planilha de *pValue* e armazena, em nova planilha, a localização das ações do par na base de dados de preço, P/L e P/VPA.

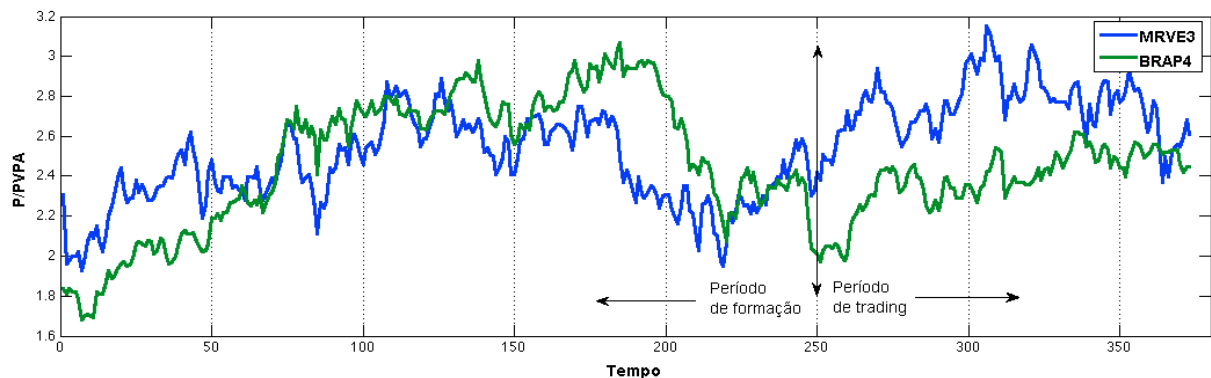
### 6.2.3 Estratégia de trade

Para o desenvolvimento da estratégia *pairs trading*, consideramos um período amostral de um ano. A partir dos resultados obtidos na amostra, definimos os pares e simulamos operações nos seis meses seguintes. Dessa forma, tivemos 8 períodos de *trading* não sobrepostos, perdendo o ano de 2008 em função do período amostral.



Três estratégias foram testadas. A primeira através de um algoritmo baseado apenas em dados de preço, simulando uma estratégia tradicional de *pairs trading* estatístico. Na segunda e a terceira estratégias, a seleção dos pares e os sinais de abertura e fechamento das operações são baseadas em indicadores P/L e P/VPA, adicionando informações fundamentalistas ao modelo.

Gráfico 1 - Séries de P/VPA de MRVE3 e BRAP4



A partir da relação linear entre as duas séries de preços de ações, é possível calcular o resíduo em cada observação  $t$ , ou seja, a diferença entre o *spread* da série e o *spread* em  $t$ . Criamos uma função que utiliza os dados (preço, P/L ou P/VPA) de cada ação, o *spread* e coeficiente de cointegração estimados, para calcular o resíduo diário de cada par cointegrado, a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Resíduo} = y_1 - \beta y_2 - c\theta \quad (8)$$

Onde:

$y_1$  = preço, P/L ou P/VPA da ação 1

$y_2$  = preço, P/L ou P/VPA da ação 2

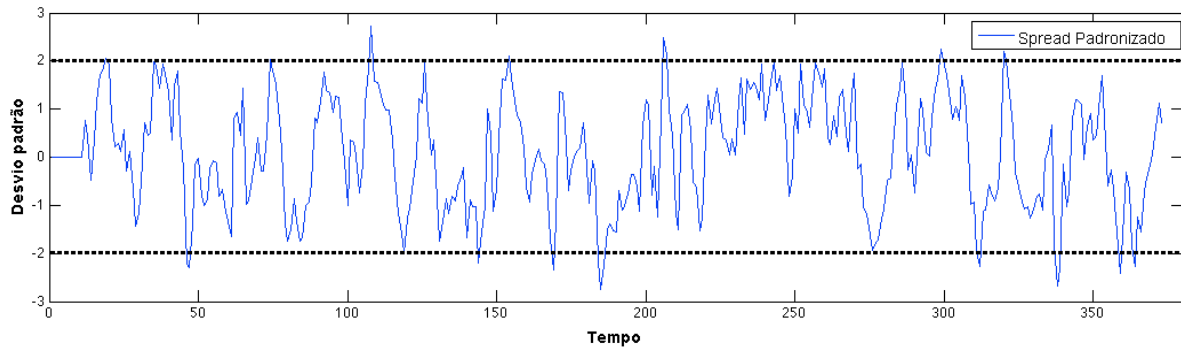
$\beta$  = coeficiente de cointegração do par

$c\theta$  = *spread* da série

A série de resíduos, então, é normalizada subtraindo sua média e dividindo pelo desvio padrão. Para que possam variar ao longo do tempo, média e desvio padrão foram calculados através de uma janela fixa de 11 observações. Como

resultado, temos uma série de escore padronizado, que foi utilizada para a definição dos sinais de entrada e saída das operações.

Gráfico 2 - Spread padronizado de MRVE3 e BRAP4



Fonte: o autor

Os sinais para abrir uma posição consistem em vender (comprar) o *spread* quando está a dois desvios padrões acima (abaixo) da média. A operação é liquidada quando o *spread* voltar a atravessar a média, ou seja, se a operação foi aberta pelo sinal de 2 desvios positivos, por exemplo, será encerrada assim que houver qualquer desvio negativo.

O primeiro passo para se obter os sinais foi criar uma função que, com base na série de *score* padronizado, indica o início e tipo de operação (compra ou venda). Então, uma nova função foi criada para identificar os momentos em que o escore padronizado cruza a média após uma operação ter sido aberta. O resultado é um controle de entrada e saída das operações indicando também seu tipo, isto é, compra ou venda de *spread*.

Visto que os dados de preço utilizados são de fechamento, a operação é aberta no dia seguinte à verificação de dois desvios no escore padronizado, bem como é liquidada no dia seguinte ao cruzamento da média dos desvios. Ao final do período de simulação, todas as operações em andamento são encerradas.

Após a definição dos sinais, o passo seguinte é simular o resultado das operações dentro da amostra. Para que a estratégia seja beta neutra, a posição deve ser montada de tal forma que a quantidade de ações de  $y_2$  comprada (vendida) seja igual à quantidade de ações de  $y_1$  vendida (comprada) multiplicada por  $\beta$ . Nesse caso, o volume financeiro da venda dificilmente é equivalente ao volume financeiro da compra, o que poderia incorrer em necessidade de caixa. Para que a estratégia possa

ser executada apenas com a disponibilidade de garantias, tornando seu resultado um adicional em determinado portfólio, optamos por uma estratégia financeiro-neutra, onde que a quantidade negociada do ativo  $y_2$  é definida de tal forma que seu volume financeiro seja igual ao gerado na operação do ativo  $y_1$ . Estabelecemos um valor padrão de R\$ 100mil para a abertura de todas as posições.

A apuração dos resultados foi feita através do retorno linear diário das séries de preços das ações. Ao abrir uma posição, criamos uma função que aloca o valor padrão em cada série e aplica o retorno linear diariamente sobre o volume financeiro da posição no dia anterior. Assim, chegamos ao resultado financeiro exato da operação, que é apurado diariamente. Posteriormente estes resultados são convertidos em séries de retornos, diário e acumulado.

Subtraímos os custos de corretagem, emolumentos e aluguel no dia em que ocorrem. O custo de corretagem utilizado foi de 0,075%, representando um desconto de 85% em relação a corretagem padrão, de 0,50%, de acordo com o desconto aplicado para volumes semelhantes ao simulado nessa estratégia. Os emolumentos, contabilizados de acordo a taxa atual, correspondem a 0,005%. O custo de aluguel utilizado foi de 2% ao ano, em linha com as taxas aplicadas.

Para avaliar o desempenho dos pares, calculamos o índice de Sharpe ( $IR$ ) das simulações realizadas dentro da amostra, que foi utilizado como critério para seleção dos 20 pares que formaram os portfólios simulados fora da amostra.

$$IR = \frac{R}{\sigma} \quad (9)$$

Onde:

$R$  = retorno da estratégia A

$\sigma$  = volatilidade da estratégia A

A partir dos resultados de Índice de Sharpe ( $IR$ ) obtidos, foi necessário programar uma função para ordenar os pares de acordo com seu desempenho, criando uma identificação dos 20 pares com maior índice.

Para simular a operação do portfólio, os resíduos e escore padronizado são calculados utilizando a relação linear dos pares de ações estimada nos testes dentro da amostra. Apenas os dados diários de preço, P/L ou V/PVPA são substituídos. Com base no escore padronizado fora da amostra, todas as funções são novamente

processadas, resultando no retorno de cada um dos 20 pares no período, que posteriormente são agrupados para formar o retorno total do portfólio.

### 6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A primeira avaliação realizada foi em relação ao número de pares cointegrados, entre os pares possíveis de cada estratégia. Para tal, apuramos a média percentual de cointegração entre os pares possíveis em todos os períodos amostrais. A Tabela 1 apresenta o percentual de pares cointegrados por estratégia.

Tabela 1 - Percentual de pares cointegrados

Série	Pares cointegrados
Preço	12,2%
P/L	17,1%
P/VPA	15,2%

Fonte: autor

As séries de preço normalizadas por indicadores fundamentalistas apresentaram maior percentual de cointegração entre os pares testados. Essa constatação pode ser interpretada como um indício de que, apesar de não haver relação de longo prazo entre duas séries de preços de ações, é possível que os dois ativos apresentem uma relação de longo prazo entre seus indicadores.

Em uma avaliação puramente estatística, a mudança persistente do *spread* entre os preços seria interpretada como uma quebra das propriedades necessárias para uma estratégia *pairs trading*. Porém, essa alteração pode ser apenas o reflexo do resultado econômico do ativo, que é ajustado pelo mercado, através do preço, para que a ação mantenha sua precificação relativa.

As três estratégias apresentaram número de operações semelhantes por janela fora da amostra. Também não houve diferença significativa no tempo médio em que as posições permaneceram abertas. A Tabela 2 apresenta estatísticas das operações.

Tabela 2 - Estatísticas das operações

Estratégia	Nº médio de operações por par	Duração média (dias)
Preço	4,22	8,81
P/L	4,20	8,93
P/VPA	4,25	8,56

Fonte: autor

Considerando que as janelas fora da amostra possuem cerca 126 observações, individualmente os pares permaneceram a maior parte do tempo sem posição aberta. Do ponto de vista do custo, esta propriedade é desejável, já que resulta em menos encargos provenientes do aluguel de ações. Do mesmo modo, quanto mais baixa a frequência das operações, menor o custo total com corretagem e emolumentos por período.

As análises dos resultados de cada estratégia foram feitas utilizando as séries de retornos dos portfólios utilizados em cada período de *trading*. De qualquer forma, ao observar a rentabilidade de cada par no período, foi possível evidenciar a importância da diversificação nesse tipo de operação. Como pode ser notado na Tabela 3, nas simulações da estratégia P/VPA, de julho a dezembro de 2010, o resultado isolado de um dos pares representou perda de mais de 34%. Por outro lado, o par com melhor desempenho isolado apresentou variação positiva de 36%. Amplitude semelhante na diferença dos resultados foi constatada em todas as simulações.

A Tabela 3 apresenta a rentabilidade líquida por par, da estratégia P/VPA, no período de julho a dezembro de 2010.

Tabela 3 - Rentabilidade Líquida por par

Ativo A	Ativo B	Rent. Liq.
MRVE3	AMBV4	4,99%
MRFG3	BBDC4	-34,46%
CSAN3	BISA3	-7,89%
MRVE3	BRAP4	36,03%
BVMF3	BRKM5	5,40%
MRVE3	BRKM5	18,34%
MRVE3	CESP6	9,93%
MRVE3	CMIG4	22,79%
MRVE3	CPFE3	20,44%
DTEX3	CPLE6	3,88%
MRVE3	CPLE6	16,79%
MRVE3	CSNA3	35,04%
MRVE3	DTEX3	19,59%
MRVE3	ELET3	4,66%
LIGT3	ELPL4	-8,95%
MRFG3	GGBR4	-11,30%
LREN3	HGTX3	23,50%
MRVE3	ITUB4	15,51%
MRVE3	KLBN4	11,70%
TRPL4	PETR3	12,15%

Fonte: o autor

Para avaliar os retornos, apuramos inicialmente a rentabilidade líquida de cada estratégia, por janela de simulação fora da amostra, que corresponde a um semestre. O desempenho foi predominantemente positivo para todas as estratégias, sendo observada apenas uma janela com rentabilidade líquida negativa para operações baseadas em preço, no primeiro semestre de 2012, duas para operações baseadas em P/L, no primeiro semestre de 2010 e no segundo semestre de 2012, e apenas uma janela para operações baseadas em P/VPA, no segundo semestre de 2012.

A Tabela 4 apresenta a rentabilidade líquida por estratégia em cada janela de simulação.

Tabela 4 - Rentabilidade líquida por estratégia

	Preço	P/L	P/VPA
1S09	16,48%	1,85%	15,70%
2S09	7,00%	3,61%	2,45%
1S10	3,30%	-2,95%	1,03%
2S10	9,31%	4,26%	9,91%
1S11	6,04%	5,10%	6,67%
2S11	4,62%	8,67%	9,59%
1S12	-1,73%	2,57%	10,17%
2S12	2,02%	-1,73%	-4,47%

Fonte: o autor

A rentabilidade líquida corresponde ao somatório dos resultados das operações realizadas no período dividido pela base de R\$ 2 milhões, já que o portfólio é composto por 20 pares e a exposição em cada ativo é sempre de R\$ 100 mil. Como essa estratégia depende apenas de garantias para ser executada, as posições são sempre iniciadas com o mesmo volume financeiro, isto é, independente do resultado da operação anterior, a exposição inicial por ativo será sempre de R\$ 100 mil em cada operação.

Como pode ser observado na Tabela 4, as estratégias baseadas em preço e P/VPA apresentaram rentabilidade semelhante entre janeiro de 2010 e julho de 2011. Inicialmente, consideramos o fato de que nesse período havia um número significativo de pares que faziam parte da composição de ambos os portfólios, chegando a sete no primeiro semestre de 2010. Além disso, em alguns casos, o valor patrimonial pode variar muito pouco em 18 meses, de modo que apenas a variação do preço acabaria influenciando significativamente a estratégia P/VPA, explicando a semelhança entre portfólios e resultados. Por isso, decidimos verificar os resultados desses pares comuns.

A Tabela 5 apresenta a rentabilidade líquida dos pares comuns entre as estratégias de Preço e P/VPA, no primeiro semestre de 2010.

Tabela 5 - Rentabilidade líquida de pares comuns

Ativo A	Ativo B	Rent. Liq. - Preço	Rent. Liq. - P/VPA
SBSP3	BBAS3	4,7%	-11,7%
ITSA4	CPLE6	-3,2%	-10,4%
ITUB4	CPLE6	-6,6%	-12,0%
MRVE3	CSAN3	9,5%	10,5%
PDGR3	CSAN3	14,5%	8,8%
OGXP3	ITSA4	-9,8%	1,9%
OGXP3	JBSS3	-5,3%	-0,7%

Fonte: o autor

Depois de analisar o período em questão, constatamos que o impacto gerado pelos pares comuns na rentabilidade líquida dos portfólios não explica a semelhança entres os resultados das estratégias. No primeiro semestre de 2010, por exemplo, esses pares foram responsáveis por uma variação positiva de 0,54% nas operações baseadas apenas em preço, enquanto representaram uma perda de 1,93% nas operações baseadas em P/VPA.

Dados anuais são amplamente utilizados por profissionais e investidores para a avaliação de fundos e outras alternativas de investimento do mercado financeiro. Por isso, utilizamos também a base anual dos resultados das estratégias testadas para examinar seu desempenho.

Tabela 6 - Estatísticas anuais das estratégias

	2009	2010	2011	2012
<b>ESTRATÉGIA I - Preço</b>				
Rentabilidade Líquida	23,48%	12,60%	10,66%	0,29%
Volatilidade	0,088	0,068	0,073	0,078
<i>IR</i>	3,021	1,988	1,564	0,037
<b>ESTRATÉGIA II - P/L</b>				
Rentabilidade Líquida	5,46%	1,30%	13,77%	0,84%
Volatilidade	0,092	0,056	0,08	0,087
<i>IR</i>	0,607	0,235	1,843	0,097
<b>ESTRATÉGIA III - P/VPA</b>				
Rentabilidade Líquida	18,15%	10,94%	16,26%	5,69%
Volatilidade	0,096	0,103	0,076	0,083
<i>IR</i>	2,068	1,123	2,319	0,704

Fonte: o autor



Em termos de retorno, tiveram melhor desempenho as operações baseadas em preço e P/VPA. Cada uma apresentou rentabilidade líquida superior as demais estratégias em dois dos quatro anos de simulação. Os retornos observados para P/L foram os piores em dois dos períodos, com rentabilidade significativamente inferior as demais em 2009 e 2010.

A volatilidade mais baixa em três dos quatro anos de *trading* para operações baseadas em preço indica menor risco nessa estratégia. Em dois dos períodos P/L teve a volatilidade mais alta, assim como P/VPA, indicando maior risco para estratégias com indicadores fundamentalistas.

A relação risco retorno, medida pelo Índice de Sharpe, foi melhor para as operações de preço e P/VPA. Ambas as estratégias apresentaram melhor relação em dois dos quatro períodos. Esse indicador tem suma importância, visto que através dele comparamos a eficiência entre as estratégias, ou seja, podemos observar se o retorno superior de um portfólio em relação a outro é ou não justificado apenas por uma maior exposição ao risco.

A Tabela 7 exibe um comparativo geral do desempenho das estratégias.

Tabela 7 - Estatísticas gerais das estratégias

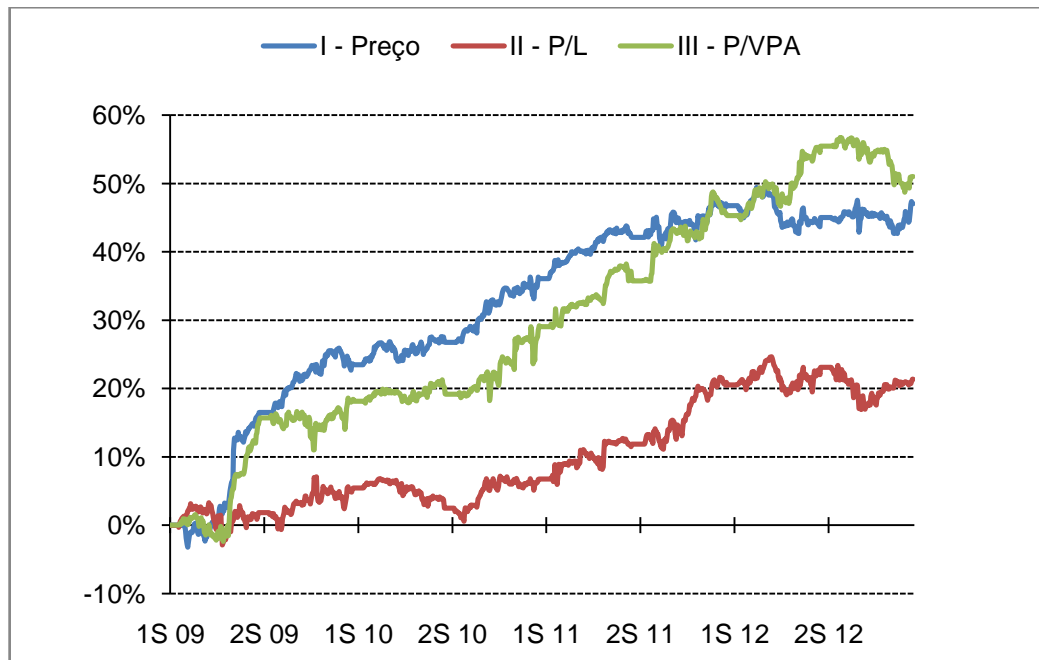
Estratégia	Rent. Acum.	Rent. Média Anual	Volatilidade	IR
Preço	47,03%	10,12%	0,077	1,622
P/L	21,37%	4,96%	0,080	0,687
P/VPA	51,04%	10,86%	0,090	1,510

Fonte: o autor

Apesar da estratégia P/VPA ter apresentado a maior rentabilidade acumulada no período, foi observado melhor relação risco retorno, medida pelo *IR*, nas operações baseadas apenas em preços, que representam a simulação de uma estratégia puramente estatística. Em relação a P/L, o retorno foi notadamente inferior, apesar de verificado nível de volatilidade semelhante às demais estratégias.

O Gráfico 3 ilustra o comportamento das operações ao longo do tempo.

Gráfico 3 - Rentabilidade Líquida acumulada

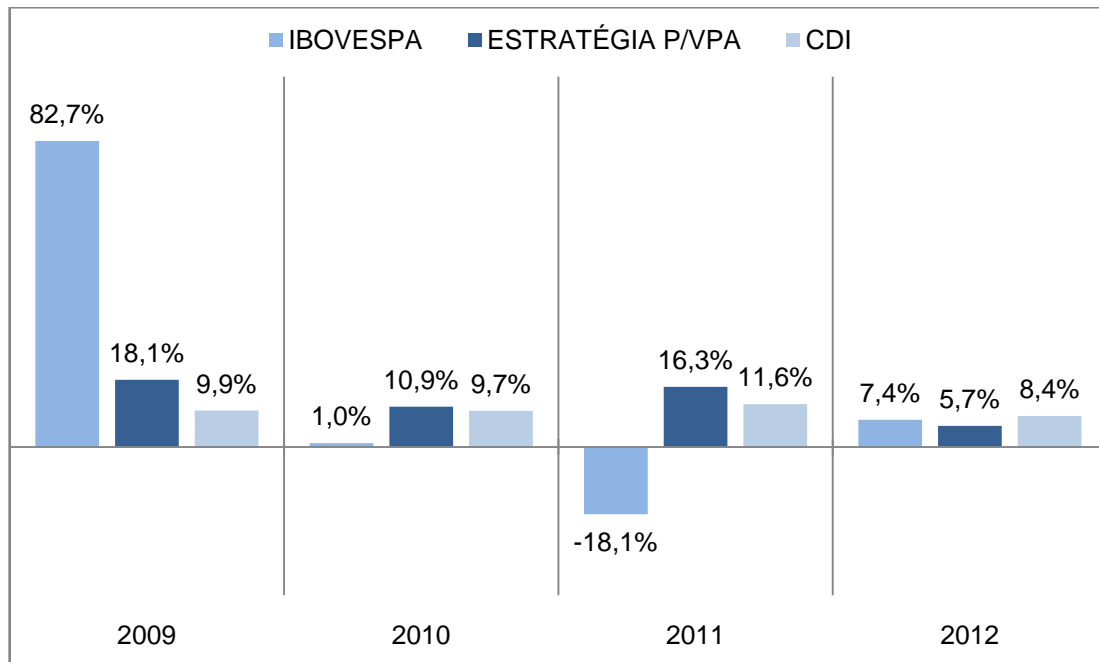


Fonte: o autor

É possível notar que, além do resultado semelhante das estratégias de preço e P/VPA, no período entre janeiro de 2010 e julho de 2011, parece haver uma correlação dos retornos ao se observar a trajetória percorrida pelas linhas que representam a rentabilidade líquida das operações. De qualquer forma, os pares comuns entre os portfólios utilizados nas janelas que compreendem esse período apresentaram retornos diferentes. Assim, excluimos a hipótese de que as operações P/VPA pudessem estar sendo determinadas essencialmente pelo preço, o que torna o motivo dessa relação irrelevante para este estudo.

Entre as estratégias baseadas em indicadores fundamentalistas, a estratégia P/VPA obteve melhor desempenho, tanto pela rentabilidade líquida quanto pelo *IR*. Por isso, foi utilizada para comparação com outros investimentos.

Gráfico 4 - Comparação de Investimentos



Fonte: o autor

Conforme ilustrado no Gráfico 4, o desempenho da estratégia P/VPA, medido apenas pela rentabilidade líquida, se mostrou competitivo em relação aos demais investimentos. Apesar da performance bastante inferior ao índice Bovespa em 2009, os resultados foram consistentes e permaneceram positivos no ano de 2011, indicando neutralidade da estratégia em relação ao mercado, que teve perda de 18,1%. O desempenho foi satisfatório quando comparado ao CDI, que não foi superado apenas em 2012.

Visto que essa estratégia pode ser executada com baixa disponibilidade de recursos, já que é possível a utilização de outros ativos como garantia, a comparação de sua rentabilidade com outros investimentos tem como principal objetivo ilustrar o contexto de mercado em que os resultados foram obtidos. As garantias aceitas para esse tipo de operação podem ser ativos indexados ao CDI ou ações do índice Bovespa, por exemplo, o que tornaria o resultado da estratégia apenas um excesso de retorno de tais investimentos.

A maneira como a utilização de indicadores fundamentalistas em estratégias de arbitragem estatística foi pesquisada nesse trabalho pode ser ampliada e melhorada. Outros indicadores poderiam ser utilizados, bem como as datas de normalização dos preços correspondentes ao conhecimento público das

informações. Filtros para a formação dos pares poderiam ser adicionados, formando posições apenas em ações do mesmo setor, por exemplo. Poderiam ser testados outros critérios para selecionar os pares do portfólio, como o nível de significância dos testes de cointegração.

## 7 CONCLUSÃO

Esse trabalho investigou a utilização de indicadores fundamentalistas como base para modelos estatísticos de *pairs trading*. Essa escolha se deve ao fato de que, enquanto a determinação de ativos comparáveis é ponto fraco da avaliação relativa, a arbitragem estatística utiliza testes para identificar ações com comportamento semelhante, além de estimar sua relação histórica.

Desenvolvemos um modelo, baseado em cointegração, similar ao utilizado por Caldeira (2013), já que foi obtido retorno positivo, além de baixa volatilidade e pouca correlação com o mercado. Além de uma estratégia de preço similar a utilizada pelo autor, foram simuladas duas estratégias baseadas em indicadores fundamentalistas, P/L e P/VPA, para possibilitar a comparação com o modelo tradicional. O estudo teve boa abrangência com relação ao número de ativos testados, definido como as 69 ações que integravam o índice Bovespa no último trimestre de 2012, e ao período de testes fora da amostra, que foi de janeiro de 2009 a dezembro de 2012.

A rentabilidade líquida acumulada no período de testes fora da amostra de quatro anos foi de 47,03% para a estratégia de Preço, 21,37% para P/L e 51,06% para P/VPA, média anual de 10,12%, 4,96% e 10,86%, respectivamente. Além disso, as três estratégias aqui implementadas apresentaram níveis de volatilidade relativamente baixos. Os retornos não apresentaram correlação significativa com o índice Bovespa, corroborando com o objetivo de neutralidade da estratégia.

Considerando a baixa volatilidade e a consistência dos resultados da estratégia P/VPA, que alcançou *IR* de 1,51 no período fora da amostra, pode-se concluir que é possível utilizar indicadores fundamentalistas como base para modelos estatísticos de *pairs trading*. Porém, a relação risco retorno foi mais baixa, quando comparada as operações baseadas apenas em preço. A aplicação das estratégias baseadas em indicadores fundamentalistas se mostrou mais trabalhosa e demandou uma quantidade maior de informações em relação ao modelo tradicional.

É importante considerar, todavia, que as adaptações feitas no modelo tradicional se limitaram a possibilitar a substituição, quando necessário, das séries de preços por séries de indicadores fundamentalistas. Por isso, os parâmetros que definem a seleção dos pares e os sinais de *trade* podem não ser os mais adequados

para esse tipo de *input*. Assim, os resultados obtidos não excluem a hipótese de que a combinação de avaliação relativa e arbitragem estatística pode ser mais eficiente, quando comparada a estratégias que se baseiam apenas na variação dos preços.

A avaliação geral dos resultados é positiva, considerando que duas das estratégias demonstraram retorno superior a renda fixa, com volatilidade relativamente baixa. Além disso, visto que as operações se auto financiam, poderiam ser utilizadas como forma de alavancar o retorno desse tipo de investimento.

Este estudo também pode ser considerado um teste para a hipótese de mercado eficiente, já que utilizou dados históricos para prever, de certa forma, o comportamento futuro dos preços de ações. Os resultados positivos confrontam o conceito de mercado eficiente, visto que a aplicação das estratégias testadas tem potencial de gerar excesso de retorno significativo em relação ao benchmark, seja ele índice de renda fixa ou ações.

## REFERÊNCIAS

AVELLANEDA, M.; LEE, J. H. Statistical Arbitrage in the U.S. Equities Market. Working papers, SSRN, 2008.

BURGESS, A. N. **A computational methodology for modelling the dynamics of statistical arbitrage**. Phd thesis, Department of Decision Sciences, University of London, 1999. Disponível em: <[http://citeseerx.ist.psu.edu/images/pdf\\_icon.gif;jsessionid=A50ECECDBEF214EFBF65E367572127FE](http://citeseerx.ist.psu.edu/images/pdf_icon.gif;jsessionid=A50ECECDBEF214EFBF65E367572127FE)>. Acesso em: 22 jun. 2013.

CALDEIRA, J. F.; MOURA, G. V. Selection of a portfolio of pairs based on cointegration: a statistical arbitrage strategy. **Brazilian Review of Finance**, v. 11, n. 1, p. 49-80, 2013.

CALDEIRA, J. F. Arbitragem estatística, estratégia long-short pairs trading, abordagem com cointegração aplicada ao mercado de ações brasileiro. **Economia**, v. 14, n. 2, 2013.

CHEN, N. F.; ROLL, R.; ROSS, S. A. Economic Forces and the Stock Market. **Journal of Business**, 59, p. 383-403, 1986.

DAMODARAN, A. **Investment valuation**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

FAMA F. E.; FRENCH, K. R. The cross-section of expected stock returns. **The Journal of Finance**, v. 47, Issue 2, p. 427-465, 1992.

GATEV, E.; GOETZMANN, G. W.; ROUWENHORST, K. Pairs trading: performance of a relative value arbitrage rule. **The Review of Financial Studies**, 19, 2006. Disponível em: <<http://stat.wharton.upenn.edu/~steele/courses/434/434context/pairstrading/pairstradingggr.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

MARKOWITZ, H. Portfolio Selection. **Journal of Finance**, n. 7, p. 77-91, 1952. Disponível em: <<http://www.gacetafinanciera.com/TEORIARIESGO/MPS.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

NADAL, C. A. **Avaliação relativa de empresas**: estratégia de gestão ativa de portfólio com objetivo de superar o desempenho do mercado. Monografia (Graduação), UFRGS, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/18145/000712675.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

NUNES, N. G. R. **Estratégia de pares aplicada nos setores de siderurgia e financeiro do IBOVESPA**. Monografia (Graduação), UFRGS, 2012.

PERLIN, M. Evaluation of pairs trading strategy at the Brazilian financial market. **Journal Of Derivatives & Hedge Funds**, v. 15, n. 2, p. 122-136, 2009.

REIS, L. G. **Produção de monografia da teoria à prática**: o método de educar pela pesquisa (MEP). SENAC, 2010.

ROSS, S. E. The arbitrage theory of capital pricing model. **Journal of Economic Theory**, 13, p. 341-360, 1976. Disponível em:

<<http://economy.njau.edu.cn:8011/files/7/3/The%20Arbitrage%20Theory%20of%20Capital%20Asset%20Pricing.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

ROSS, S. E.; WESTERFIELD, R. W.; JORDAN, B. D. **Princípios de administração financeira**. São Paulo: Atlas, 1998.

RUPPERT, D. **Statistics and data analysis for financial engineering**. New York: Springer, 2010.

SHARPE, W. F. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. **Journal of Finance**, n. 19, 1964. Disponível em:

<<http://www.jstor.org/discover/10.2307/2977928?uid=3737664&uid=2&uid=4&sid=21101368352397>>. Acesso em: 22 jun. 2013.

VIDYAMURTHY, G. **Pairs trading, quantitative methods and analysis**. John Wiley & Sons, Inc., 2004.