

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

PAIRS TRADING: UMA ESTRATÉGIA QUANTITATIVA NO MERCADO DE
AÇÕES

João Felipe Santoro Araujo
No. de matrícula: 0312734-4

Orientador: Marco Antonio F. H. Cavalcanti
23/06/2009

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

PAIRS TRADING: UMA ESTRATÉGIA QUANTITATIVA NO MERCADO DE
AÇÕES

João Felipe Santoro Araujo
No. de matrícula: 0312734-4

Orientador: Marco Antonio F. H. Cavalcanti
23/06/2009

Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor.

João Felipe Santoro Araujo

As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Marco Antonio F. H. Cavalcanti pela didática, paciência e por ter acreditado na minha capacidade.

À minha família e à minha namorada Camila pelo apoio nos momentos difíceis.

À Carlos Thadeu de F. G. Filho e à Gustavo L. V. Gazaneo pelas discussões sempre enriquecedoras.

SUMÁRIO

1)	INTRODUÇÃO	3
2)	MOTIVAÇÃO	4
3)	TEORIA E INSTRUMENTAL	7
3.1	EFICIÊNCIA DO MERCADO	7
3.2	LEI DO PREÇO ÚNICO	8
3.3	NEUTRALIDADE AOS MOVIMENTOS DO MERCADO	10
3.4	ESTACIONARIDADE, COINTEGRAÇÃO E TESTE DE RAÍZES UNITÁRIAS	12
4)	MÉTODO	17
4.1	IDENTIFICAÇÃO E FORMAÇÃO DOS PARES	17
4.2	SIMULAÇÃO	18
4.3	CÁLCULO DA RENTABILIDADE	19
4.4	PARÂMETROS E RESUMO DA ESTRATÉGIA	20
5)	DADOS	22
6)	RESULTADOS	23
6.1	PAIRS TRADING SEM TESTE DE COINTEGRAÇÃO	23
6.2	PAIRS TRADING COM TESTE DE COINTEGRAÇÃO	27
6.3	COMPARAÇÕES	30
7)	CONCLUSÃO	35
8)	BIBLIOGRAFIA	37

1) INTRODUÇÃO

Este estudo busca analisar a rentabilidade de uma estratégia denominada *pairs trading*, muito utilizada pelos fundos multimercados, assim como suas implicações sobre a hipótese da eficiência de mercado. A idéia é que, dado dois ativos com características semelhantes, pode se vender o mais caro e comprar o mais barato acreditando que essa distorção nos preços irá se corrigir. Isto é, uma posição do tipo *long-short* é montada tal que a exposição ao risco sistemático é reduzida (neutralizada), fazendo com que os retornos da carteira não sejam correlacionados com os retornos do mercado de ações como um todo.

Apesar do assunto já ter sido abordado em outros estudos, fornecemos algumas inovações no que diz respeito ao critério de seleção dos pares de ativos, através da inclusão de um teste de cointegração, além de realizar uma análise de sensibilidade em relação a alguns parâmetros do modelo. Primeiramente discutiremos a motivação para o trabalho, ilustrando os detalhes da estratégia. Em seguida, apresentaremos as implicações teóricas do modelo, principalmente em relação à eficiência de mercado, bem como o instrumental necessário para sua implementação. Feito isso, descreveremos o metodologia e realizaremos as simulações, formalizando posteriormente uma conclusão a respeito dos resultados obtidos.

2) MOTIVAÇÃO

O grande desafio do mercado acionário do ponto de vista dos fundamentos das empresas é vender ativos que estejam sobrevalorizados e comprar os que estejam subvalorizados. No entanto, mesmo com o auxílio dos modelos de fluxo de caixa descontado, isto é algo muito difícil de fazer com precisão. Daí a importância dos preços relativos na localização de distorções.

De acordo com o modelo APT (*Arbitrage Pricing Theory*), o retorno de um ativo é explicado em parte por sua exposição a fatores de risco comuns a todos os outros ativos e em parte explicado pelo risco específico que esse ativo possui. Dessa maneira, criando-se uma carteira formada por um par de ações que possuem exposição aos mesmos fatores de risco, sendo este par formado por uma posição comprada num ativo e vendida no outro, é possível neutralizar ou ao menos minimizar, o efeito dos fatores de risco que são comuns aos dois ativos¹.

Assim, se os ativos que formam esse par forem cointegrados (*Fig. 1*), o efeito dos fatores de risco comuns no retorno da carteira (par) seria mitigado, sobrando apenas o retorno da carteira oriundo do fator de risco específico dessa carteira *long-short*. Pode-se então testar a hipótese de que esse componente específico segue um processo estacionário (*Fig. 2*), de forma que toda vez que esse processo desviar de sua média, pode-se vender o ativo cujo preço subiu mais e vender o ativo cujo preço subiu menos, acreditando na reversão à média.

Tendo em vista o impacto da crise financeira iniciada na bolha imobiliária americana sobre a indústria de fundos multimercados, tornou-se mais relevante estudar se esse tipo de estratégia “neutra” é capaz de obter retornos positivos significantes mesmo em mercados desfavoráveis. Apesar de alguns estudos já terem abordado a estratégia de *pairs trading* no mercado de ações brasileiro, o período no qual a estratégia foi analisada coincide com um mercado de alta (2001-2006), fato que pode ter influenciado os resultados obtidos.

¹ Esse é o motivo pelo qual a estratégia de *Pairs Trading* é considerada neutra ao mercado.

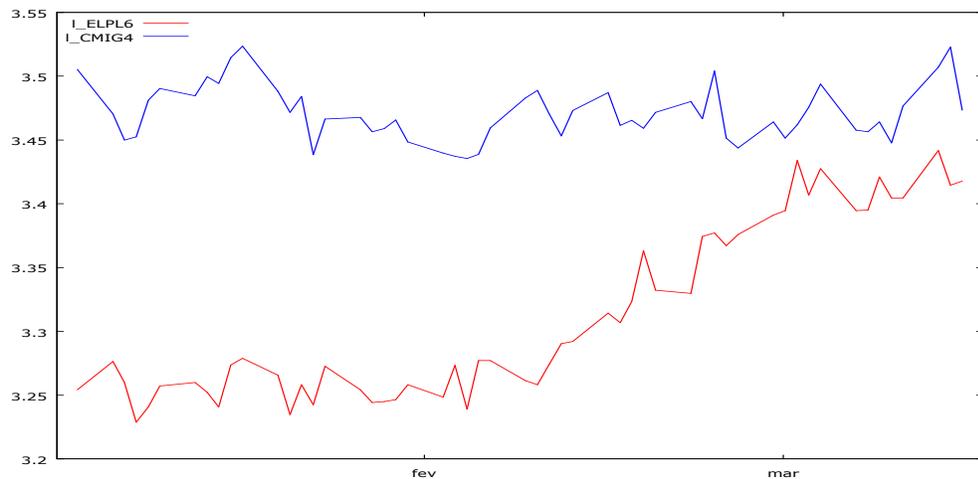


Figura 1 – A figura acima é o gráfico de uma série de três meses do logaritmo dos ativos ELPL6 e CMIG4. Ao que tudo indica, esses ativos são cointegrados. No entanto, ainda é necessário realizar o teste de cointegração.

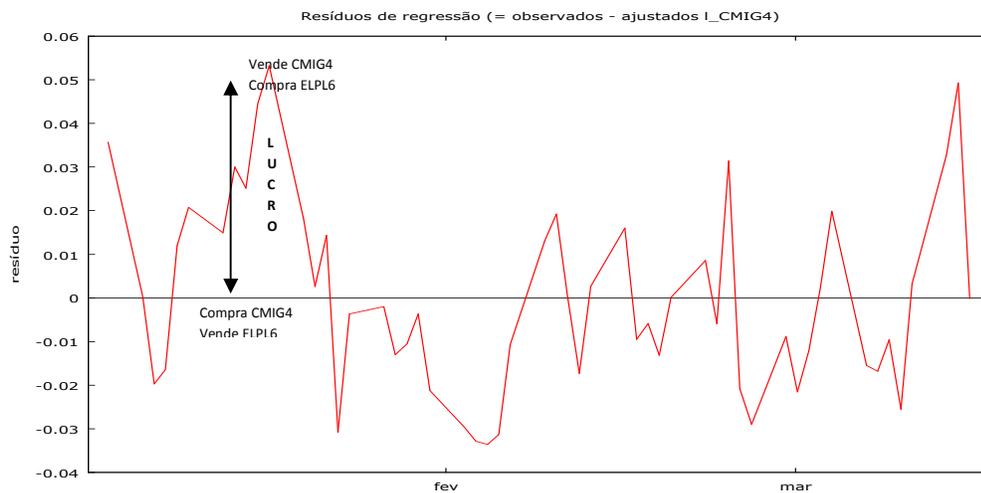


Figura 2 – A figura acima é o gráfico dos resíduos de uma regressão $\log(\text{cmig4}) = b_1 \cdot \log(\text{elpl6}) + u$. Esses ativos possuem exposição similar nos fatores de risco, e assim é possível comprar CMIG4, vender ELPL6 (ou vice-versa), anulando o componente estocástico do retorno da carteira, ficando apenas com o componente de risco específico (estacionário). Dessa forma, é possível montar operações de compra e venda acreditando na reversão à média.

Outro ponto a ser colocado, é que a formatação do critério de escolha dos pares pode influenciar significativamente os retornos da estratégia. Neste sentido, pode ser interessante apresentar inovações no algoritmo da estratégia, como por exemplo, a incorporação de um teste de cointegração e um novo filtro de seleção de pares de ativos. Além disso, parece ser imprescindível observar

como os custos de transação e o rigor adotado na regra de simulação, afetam os retornos da estratégia.

Adicionalmente, é provável que seja relevante testar se a estratégia é lucrativa utilizando diferentes horizontes temporais no critério de formação e negociação dos pares de ativos. Dessa maneira, poderemos efetuar uma posterior comparação dos retornos nessas diferentes janelas de tempo.

3) TEORIA E INSTRUMENTAL

3.1 EFICIÊNCIA DO MERCADO

A versão mais fraca da hipótese dos mercados eficientes (HME), afirma que o preço das ações reflete toda informação que pode ser obtida através de dados históricos. Isso implica que a análise das séries históricas dos preços dos ativos em nada contribui para prever os movimentos nos preços das ações. Se essa informação passada fornecesse sinais confiáveis sobre o desempenho dos ativos no futuro, todos os agentes antecipariam esse dado, e o preço do ativo subiria (cairia) imediatamente.

Muitos estudos já realizaram testes da hipótese dos mercados eficientes (HME), e podem ser divididos em três grupos: O primeiro é formado pelos testes da versão fraca da HME, isto é, se retornos passados são capazes de ajudar na previsão dos retornos futuros. O segundo é composto pelos testes da versão semi-forte da HME, ou seja, o quão rápido os preços dos ativos refletem a informação publicamente disponível. Por último estão os da versão forte da HME, que testam se é possível que algum investidor possua informações privilegiadas que ainda não estão incorporadas aos preços dos ativos (*Fama 1991*). Segundo Fama, a versão fraca da HME pode ser estendida, de forma a não incluir apenas o poder preditivo dos retornos passados, mas também outros indicadores fundamentalistas (*Preço/Lucro, dividend yield*).

A maior parte dos estudos sobre eficiência de mercado envolvendo retornos históricos consiste em comprar ações vencedoras acreditando que devido à presença de autocorrelação nos retornos estas continuarão subindo ou em comprar ações perdedoras, acreditando na reversão da tendência. *Fama (1965)* fornece evidência de que comprar ações que subiram no dia anterior resulta em retornos positivos no dia seguinte. *Titman (1993)* encontra que comprar ações vencedoras e vender ações perdedoras é uma estratégia que gera retornos positivos considerando um horizonte de três a doze meses. Alguns outros estudos também apresentam evidências contrárias à HME, como *Rozeff e Kinney (1976)*, que apontam a existência de um “efeito calendário”, onde os retornos das ações no mês de janeiro seriam significativamente superiores aos outros meses do ano.

É importante ressaltar, que muitos desses estudos empíricos envolvendo a HME sofrem de um mesmo problema. Para testar a eficiência do mercado, no sentido que os ativos estão corretamente precificados, torna-se necessário definir o que significa um ativo estar “corretamente precificado”. O modelo CAPM é usualmente utilizado para este fim, onde o retorno de um ativo deveria refletir sua exposição ao risco de mercado medido pelo beta. *Fama e French (1992)* colocaram em dúvida a validade do modelo CAPM, ao incluir dois outros fatores que ajudam a explicar os retornos dos ativos no mercado de ações (esta é a idéia por trás do modelo APT).

A principal consequência teórica da hipótese dos mercados eficientes (HME) é que nenhuma operação baseada em dados históricos deveria obter retornos em excesso em relação a um *benchmark* qualquer (*Perlin 2007*). No entanto, como visto anteriormente existem estudos que em oposição a HME, mostram que informação passada ajuda a explicar ao menos em parte os retornos futuros do mercado de ações.

Dentro desse contexto, torna-se muito difícil justificar retornos obtidos por uma estratégia como *pairs trading* (que usa retornos históricos) sem incorporar algum tipo de ineficiência ao mercado. Assim, um dos objetivos desse trabalho é corroborar os resultados dos estudos que apresentam algum tipo de evidência contra a hipótese da eficiência de mercado na sua versão mais fraca.

3.2 LEI DO PREÇO ÚNICO

De acordo com a Lei do Preço Único (LPU), em mercados competitivos, dois bens idênticos devem ser negociados ao mesmo preço na ausência de custos de transação e barreiras de mercado. Caso contrário, seria possível obter lucros infinitos comprando o bem mais barato e vendendo posteriormente por um preço mais alto. Este é o princípio da arbitragem.

O mercado de ações possui alta competitividade e custos de transação baixos. Dessa forma, para a LPU se sustentar no mercado de ações, os participantes do mercado no deveriam exercer o papel de arbitradores, impedindo que um mesmo ativo seja transacionado a preços diferentes. No

entanto, *Lamont e Thaler (2003)* fazem uma excelente revisão sobre anomalias no mercado de ações, retratando diversas situações onde a LPU é violada.

Excetuando algumas anomalias expostas por *Lamont e Thaler (2003)*, os ativos no mercado de ações não parecem ser substitutos perfeitos. No entanto, podem ser substitutos em alguma instância, de forma que divergências consideráveis entre seus preços deveriam ser corrigidas via arbitragem, de forma que a LPU se sustente. O caso das ações ordinárias e preferenciais parece ser um caso onde os ativos são substitutos próximos, de forma que seus preços não deveriam divergir demasiadamente.

De fato, *Gatev et al. (2006)* abordam a estratégia de *pairs trading* como sendo um teste empírico da Lei do Preço Único. Isto é, se a LPU resiste no mercado de ações, a estratégia de *pairs trading* deveria apresentar retornos positivos. Estes retornos seriam uma remuneração para os agentes arbitradores por atuarem em prol da convergência dos preços, devolvendo o equilíbrio ao mercado.

Entretanto, é preciso chamar atenção para o fato de que o conceito puro de arbitragem envolve obter lucro sem incorrer nenhum tipo de risco, e esse certamente não é o caso em *pairs trading*. Existe, por exemplo, o risco de mudança nos fundamentos das empresas que não são contrabalançadas pela posição *long-short*. Este talvez seja o ponto mais fraco da estratégia, pois como a mesma é baseada em dados históricos, surpresas podem ocasionar prejuízos.

De fato, existem relatos de prejuízos envolvendo estratégias desse tipo em todos os tipos de mercado. Um famoso fundo multimercado americano chamado *Amaranth Advisors LLC* colapsou após perder cerca de US\$ 6 bilhões com uma estratégia *long-short* no mercado futuro de gás natural. O fundo havia se alavancado na proporção 8:1 numa posição comprada em contratos de gás natural com vencimento em março de 2007 e 2008 e vendida em contratos de gás natural com vencimento em abril de 2007 e 2008, na esperança que os preços convergissem.

3.3 NEUTRALIDADE AOS MOVIMENTOS DO MERCADO

Uma estratégia neutra ao mercado exige que o investidor monte simultaneamente posições compradas e vendidas de mesmo valor nominal. Os ativos devem ser selecionados de acordo com o risco sistemático ao qual estão expostos. A sensibilidade do preço das posições compradas (*long*) aos movimentos do mercado deve neutralizar a sensibilidade das posições vendidas (*short*), deixando a carteira sujeita a um risco sistemático desprezível (*Jacobs e Levy 2005*).

Essa lógica pode ser mais bem explicada através do modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*). O modelo tenta explicar o retorno total de um ativo como uma soma de dois diferentes componentes. Um é o componente sistemático (de mercado) e o outro é um componente não sistemático (residual). Formalmente², se r_p é o retorno total do ativo, r_m é o retorno de uma carteira que serve como *proxy* para o retorno do mercado (no caso brasileiro o Ibovespa) e o parâmetro β mede a sensibilidade do ativo em questão às variações do mercado.

$$r_p = \beta r_m + \theta_p$$

Onde βr_m é a fração do retorno que pode ser explicada pelo retorno do mercado do retorno e θ_p a parte não explicada pelas variações do mercado³. O modelo assume a hipótese que esses dois componentes não são correlacionados, e que a média do componente não sistemático é igual a zero ($E[\theta_p] = 0$). O β pode ser obtido através de uma regressão entre os retornos da carteira de mercado e os retornos do ativo:

$$\beta = \frac{Cov(r_p, r_m)}{Var(r_m)}$$

No contexto do CAPM, uma carteira neutra ao mercado pode ser definida como uma carteira na qual $\beta=0$ (*Vidiamurthy 2004*). Logo, o retorno de um portfólio com beta zero é determinado simplesmente pelo componente

² A demonstração feita aqui pode ser encontrada em Vidiamurthy (2004)

³ Cabe lembrar que essa é uma versão simplificada do CAPM, onde se supõe a inexistência de um ativo livre de risco.

residual, que por hipótese é não correlacionado com as variações do mercado. Isso torna essa carteira neutra ao mercado. Entretanto, só é possível construir uma carteira neutra ao mercado utilizando posições compradas e vendidas simultaneamente, dado que posições compradas possuem um β estritamente positivo e posições vendidas β estritamente negativo. Isto pode ser demonstrado através de um simples exemplo exposto por *Vidiamurthy (2004)*:

Supondo uma posição comprada num ativo A, com β_A e uma posição vendida num ativo B com β_B . Os retornos desses dois ativos podem ser expressos da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} r_A &= \beta_A r_m + \theta_A \\ r_B &= \beta_B r_m + \theta_B \end{aligned}$$

Uma carteira AB que possua uma posição vendida em r unidades de A e comprada em uma unidade de B tal que o retorno da carteira seja igual a $r_{AB} = -r \cdot r_A + r_B$. Substituindo os valores de r_A e r_B podemos escrever o retorno do novo portfólio na lógica do CAPM:

$$r_{AB} = \underbrace{(-r\beta_A + \beta_B)}_{\beta_{AB}} r_m + \underbrace{(-r\theta_A + \theta_B)}_{\theta_{AB}}$$

Dessa forma, para β_{AB} ser nulo e AB ser uma carteira neutra ao mercado, o tamanho da posição vendida A deve ser igual a:

$$r = \frac{\beta_B}{\beta_A}$$

Essa é a essência da estratégia de *pairs trading*. Uma carteira *long-short* é montada tal que $\beta=0$ e o retorno da posição agregada dependa apenas de um componente residual que é não correlacionado com o mercado e possui média zero. Dado isso, é de se esperar que a série temporal desse componente residual possua reversão à média, e que seja possível se aproveitar dessa propriedade para obter lucros.

3.4 ESTACIONARIDADE, COINTEGRAÇÃO E TESTE DE RAÍZES UNITÁRIAS

Uma série temporal u_t pode ser classificada como estacionária de segunda ordem se seguir um processo que possui as seguintes características:

- Média e variância constantes
- $Cov(u_t, u_{t-s})$ depende apenas da defasagem s entre as observações

Um processo com essas características é o chamado ruído branco, que possui média é igual a zero, variância constante e autocorrelações nulas:

$$u_t \rightarrow iid(0, \sigma^2)$$

Outro tipo de processo é o $MA(q)$ que consiste na realização do ruído branco no instante de tempo t , mais frações das realizações defasadas do ruído branco até os instantes $t - q$.

$$y_t = u_t + \sum_{i=1}^q \beta_i u_{t-i}$$

Onde u_t é a realização do ruído branco no instante de tempo t . Processos do tipo $MA(q)$ também são processos estacionários. Por exemplo, no caso de um $MA(1)$:

$$y_t = u_t + \beta u_{t-1}$$

$$E[y_t] = E[u_t] + \beta_1 E[u_{t-1}] = 0 \text{ (constante e igual a zero)}$$

$$Var[y_t] = Var[u_t] + \beta^2 Var[u_{t-1}] = (1 + \beta^2) Var[u_t] \text{ (constante)}$$

Outro tipo de processo é o auto-regressivo, denotado por:

$$y_t = \sum_{i=1}^p \rho_i y_{t-i} + u_t$$

Onde u_t é um ruído branco. Processos do tipo $AR(p)$ podem ser estacionários ou não, dependendo da presença de raiz unitária. Considerando o caso do processo $AR(1)$:

$$y_t = \rho y_{t-1} + u_t$$

É possível reescrever o processo recursivamente tal que:

$$y_t = \sum_{i=0}^{T-1} \rho^i E[u_{t+i}]$$

Com $T \rightarrow \infty$, pode ser provado que a média e a variância desse processo são iguais a:

$$E[y_t] = \sum_{i=0}^{T-1} \rho^i E[u_{t+i}] = 0$$

$$Var[y_t] = \sum_{i=0}^{T-1} \rho^{2i} Var[u_{t+i}] = [Var(u_t) + \rho^2 Var(u_{t+1}) + \rho^3 Var(u_{t+2}) + \dots]$$

$$Var[y_t] = Var[u_t](1 + \rho^2 + \rho^4 + \dots)$$

Logo a média é constante e igual a zero e a variância só é constante se $\rho < 1$, caso contrário ($\rho \geq 1$) a variância aumenta com o tempo e o processo “explode”, isto é, torna-se um processo não estacionário.

Adicionalmente, duas séries temporais x_t e y_t não estacionárias são ditas co-integradas se existe um parâmetro α tal que

$$u_t = x_t + \alpha y_t$$

seja uma combinação linear dessas séries que segue um processo estacionário. Mais precisamente, x_t e y_t são ditas cointegrados de ordem $CI(d,p)$, se x_t e y_t são ambos integrados de ordem d (precisam ser diferenciados d vezes para se tornarem processos estacionários) mas existe um parâmetro α tal que o processo u_t descrito acima é integrado de ordem $d - p$. Logo se x_t e y_t são integrados de ordem um, temos que $CI(1,1)$ e que u_t é integrado de ordem zero, $I(0)$. Isso é o mesmo que dizer que u_t é um processo estacionário (não possui raiz unitária).

Os preços dos ativos no mercado de ações seguem um passeio aleatório, isto é um processo $AR(1)$ com $\rho = 1$. Entretanto, apesar de apresentarem processos não estacionários, é possível que tenhamos duas ou mais ações que sejam co-integradas, tal que uma combinação das mesmas seja um processo estacionário. Como um processo estacionário possui média constante, é possível montar operações de compra e venda dessas ações toda vez que o processo desvie da média, na espera da reversão. Esta é justamente a idéia por trás da estratégia de *pairs trading*.

No entanto, é necessária a realização de um procedimento para saber se duas séries são de fato co-integradas. A importância do teste de cointegração deve-se ao fato de que a regressão pelo método dos mínimos quadrados ordinários entre duas variáveis não-estacionárias pode levar a uma relação espúria. Isto é, mesmo numa regressão onde as variáveis são passeios aleatórios independentes, os resultados podem acusar a presença de uma relação que na realidade não existe. Como as variáveis são totalmente independentes, seria razoável esperar que o valor do coeficiente que mede a relação entre as mesmas fosse estatisticamente igual a zero. Mas isso não ocorre, pois o simples fato das duas séries possuírem alguma tendência pode fazer com que os resultados pareçam significativos, levando a conclusões equivocadas.

A ocorrência de regressões espúrias pode ser ilustrada através de uma simulação de Monte Carlo (*Granger e Newbold 1974*). Se gerarmos aleatoriamente um número grande de amostras de dois passeios aleatórios independentes X e Y , e para cada amostra, rodarmos a regressão de Y em X , a hipótese nula (verdadeira) de que não há relação entre as duas variáveis será rejeitada com frequência muito maior do que seria esperado, para qualquer nível de significância do teste.

Para a estratégia de *pairs trading* isso é relevante, pois a lógica de regredir um ativo no outro, é descobrir se ambos estão expostos aos mesmos fatores de risco com o objetivo de montar uma posição “neutra”. Sem o teste de cointegração, uma simples regressão de um ativo no outro pode fornecer coeficientes estatisticamente significantes, mas que denotam uma relação

espúria. Isto é, poderia parecer que ambos os ativos estão expostos aos mesmos fatores de risco sistemático, quando na realidade não estão.

O procedimento que será utilizado para testar a cointegração é denominado procedimento de *Engle-Granger*, e consiste em duas etapas:

1. Regressão entre as séries temporais supostamente co-integradas (no caso, entre as séries de preços de dois ativos diferentes):

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 x_t + u_t$$

2. Fazer um teste de raiz unitária em u_t , para verificar se o resíduo é estacionário

A segunda etapa do procedimento pode ser realizada através de um teste de *Dickey-Fuller* Aumentado. O primeiro passo para a realização desse teste é rodar a regressão:

$$\Delta u_t = \alpha_0 + \gamma u_{t-1} + \delta_1 \Delta u_{t-1} + \delta_2 \Delta u_{t-2} + \dots + \delta_p \Delta u_{t-p}$$

O segundo passo é realizar o teste de hipótese:

$$H_0: \gamma = 0 \text{ (processo possui raiz unitária)}$$

$$H_1: \gamma < 0 \text{ (processo estacionário com média diferente de zero)}$$

A estatística de *Dickey-Fuller* é então calculada ($DF = \frac{\hat{\gamma}}{dsvpad(\hat{\gamma})}$) e

comparada com um número crítico correspondente ao nível de significância adotado (5% no caso das simulações feitas nesse trabalho).

O índice p é número de defasagens de u_t incluídas na regressão. Isto é feito para controlar para o caso de haver autocorrelação na série dos resíduos. A escolha de p deve ser feita através do critério de *Akaike* ou de *Schwarz*. A intuição por trás desses critérios é que quanto mais defasagens são adicionadas ao modelo melhor ele se ajusta aos dados (redução da soma dos quadrados dos resíduos), mas ao mesmo tempo a super especificação do modelo reduz muito sua utilidade, pois vai se adaptar muito bem aos dados

atuais, porém perdendo poder preditivo. Os critérios de seleção de defasagem penalizam a inserção de uma defasagem adicional, sendo o de Schwarz mais severo em relação a esse ponto do que o de Akaike.

Critério de *Akaike*:

$$AIC = 2k + n \left[\ln(2\pi \frac{SQR}{n}) + 1 \right]$$

Critério de *Schwarz*:

$$BIC = n \ln(\frac{SQR}{n}) + k \ln(n)$$

Apesar de reconhecer a importância desses critérios, o número de três defasagens será adotado durante as simulações de forma a simplificar o algoritmo e aperfeiçoar o tempo de processamento da estratégia.

Essa breve revisão sobre séries temporais é de extrema importância para o entendimento do trabalho, visto que cada conceito apresentado, desde estacionaridade dos processos até o teste de verificação de raiz unitária, deve ser compreendido com clareza, pois a estratégia de *pairs trading* nada mais é do que uma aplicação direta de todo esse instrumental.

4) MÉTODO

O trabalho pode ser dividido em três etapas: a identificação e formação dos pares, a negociação dos pares através de uma regra e o cálculo da rentabilidade da estratégia juntamente com uma comparação com algum “*benchmark*”.

4.1 IDENTIFICAÇÃO E FORMAÇÃO DOS PARES

Nessa primeira etapa, o objetivo é encontrar ativos que se movam juntos, viabilizando a execução da estratégia. *Perlin (2007)* adota um critério de seleção dos pares que envolve uma medida de distância, que nada mais é que o módulo da correlação entre os ativos apurada durante o período de identificação. *Vidiamurthy (2004)* prova que essa medida pode ser interpretada geometricamente como o cosseno do ângulo formado pelos vetores dos fatores de risco sistemático aos quais os ativos estão expostos. Um ângulo zero entre esses vetores é um indicativo de cointegração. Em seguida, o autor seleciona para cada ativo, somente o par que possuir a menor distância entre os ativos. Essa medida de distância entre dois ativos, por exemplo, A e B, pode ser formalmente expressa como:

$$d(A, B) = |\rho| = \left| \frac{\text{cov}(r_a, r_b)}{\sqrt{\text{var}(r_a) \text{var}(r_b)}} \right|$$

Entretanto, apesar da medida ser um indicativo, não há um teste que confirme a presença de cointegração entre as séries de preços. Dessa forma, é interessante modificar o algoritmo disponibilizado por *Perlin (2007)* para incorporar um teste de cointegração no processo. Uma vez formados os pares aprovados no teste de cointegração (*Engle-Granger*), para cada ativo, será selecionado apenas o par que possuir maior R^2 da regressão entre os ativos. A racionalidade para o segundo filtro através do R^2 , é que se o R^2 da regressão entre os dois ativos for maior, é mais provável que ambos estejam expostos aos mesmos fatores de risco sistêmico, de acordo com a lógica da estratégia de *pairs trading*.

Esse processo de identificação deve ser feito num período antecedente ao período de negociação, utilizando uma janela móvel ao longo da amostra (*Figura 3*). Outro ponto a ser considerado nessa etapa de formação, é o fato de

que o melhor par de cada ativo pode mudar ao longo do tempo, sendo necessário atualizar os pares com alguma frequência. A periodicidade de atualização dos pares utilizada no presente estudo será de 25 dias (pouco mais de um mês).

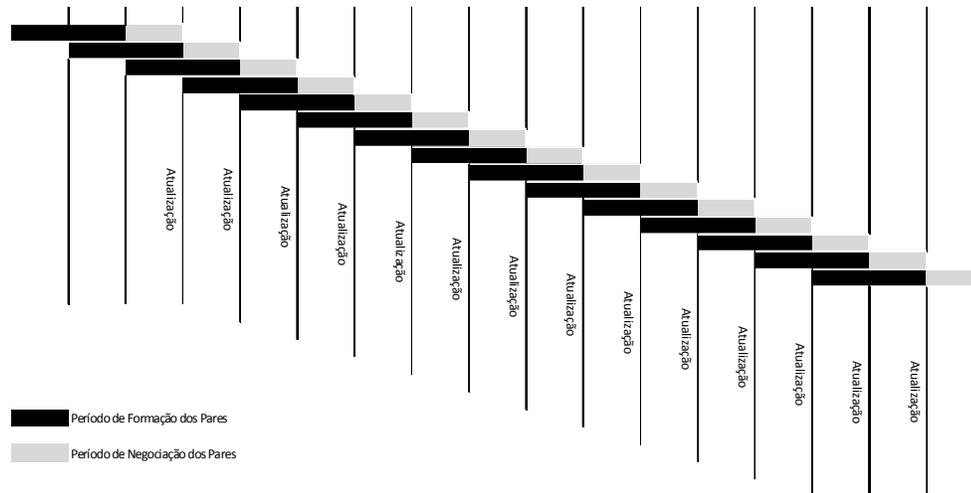


Figura 3 – Como pode ser visto na figura acima, o desenho da estratégia é feito de tal forma que as simulações nunca usem dados passados. Isto é, o período de negociação só é aberto após o período de identificação.

4.2 SIMULAÇÃO

Tendo computado os pares no período de identificação, pode-se abrir um período de negociação dessas carteiras, no qual as operações são abertas e fechadas de acordo com uma regra pré-estabelecida. A regra comumente presente na prática é a de entrar na operação quando o processo atingir o segundo desvio-padrão de sua média, e sair quando o processo reverter à média, proporcionando um lucro na operação que seja mais alto que os custos de transação. Para tornar os resultados equiparáveis com os obtidos por estudos anteriores, será utilizado o algoritmo de simulação⁴ (*backtesting*) apresentado por *Perlin (2007)*, onde o autor implementa o mesmo critério proposto por *Gatev (2006)*. Isto é, quando a medida de distância entre os preços dos dois ativos ultrapassar um limite arbitrário t , vende-se o ativo o qual o preço caiu menos (subiu mais) e compra-se o ativo o qual preço caiu mais (subiu menos), esperando que a distância se reverta onde a posição encerraria com lucro. Pode ser relevante variar esse limite t e ver como isso

⁴ Todos as simulações e cálculos foram programados com o software MATLAB

influencia os retornos da simulação, pois valores muito baixos implicam num grande número de transações, onde os custos podem corroer os lucros. Já valores muito altos de t podem implicar num número muito pequeno de transações e baixa rentabilidade, pois seriam perdidas muitas oportunidades de arbitragem.

No entanto, para a execução da estratégia através dessa regra do limite t , é preciso que todos os preços estejam na mesma unidade, pois a medida de distância muda de acordo com o valor absoluto dos preços das ações. Para resolver esse problema, *Perlin (2007)* efetua uma normalização dos preços usando a média e o desvio padrão da série de preços. Apesar desse procedimento não parecer realista a não ser no caso dos preços possuírem distribuição normal, serve para transformar os preços para uma mesma unidade, viabilizando a simulação. Neste sentido, o procedimento de normalização será mantido no intuito de tornar os resultados mais comparáveis aos resultados dos estudos anteriores⁵.

4.3 CÁLCULO DA RENTABILIDADE

O calculo da rentabilidade deverá ser feito somando o retorno acumulado de todas as operações realizadas nos períodos de negociação. No entanto, a significância desse retorno dependerá de uma comparação com os retornos obtidos através de operações aleatórias, através de uma simulação de Monte-Carlo. Ou seja, devemos computar ao longo das n simulações (no caso $n=1000$), o número de vezes que a estratégia aleatória é superada.

Outro teste interessante é calcular o excesso de retorno da estratégia de pairs trading sobre uma estratégia simples (ingênua), onde uma carteira do tipo *long-short* é montada (no mesmo período de negociação) de acordo com um peso específico para cada ativo. Este peso deve ser proporcional ao número de operações realizadas com cada ativo específico na estratégia de *pairs trading*. O cálculo do retorno dessa estratégia simples é o mesmo adotado por *Perlin (2007)* e pode ser formalizado da seguinte maneira:

$$R_{simple} = \sum_{i=1}^n P_i^L \sum_{t=1}^T R_{it} + \sum_{i=1}^n P_i^S \sum_{t=1}^T R_{it} + 2n \ln \left(\frac{1-C}{1+C} \right)$$

⁵ *Perlin (2007)* usa a normalização dos preços também na fase de identificação e formação, pois o critério de identificação adotado pelo autor também utiliza a medida de distância.

Inicialmente a equação pode parecer confusa, mas na realidade não é. O valor de P_i^L é simplesmente a proporção em termos de dias, que a estratégia de *pairs trading* abriu uma posição comprada no ativo i . O mesmo raciocínio se aplica ao valor de P_i^S . Ou seja, esses valores representam o peso específico de cada ativo i na carteira “ingênua”, e esse peso é proporcional ao número de operações que foram executadas com cada um desses ativos na estratégia de *pairs trading*. O valor de R_{it} é o retorno da posição comprada/vendida do ativo i no dia t . O último termo se refere aos custos de transação, sendo multiplicado por dois, para refletir os custos não só de entrada, mas também de saída de cada operação.

4.4 PARÂMETROS E RESUMO DA ESTRATÉGIA

Considerando o grande número de detalhes presentes no desenho da estratégia, torna-se relevante fazer um pequeno resumo de todos os parâmetros, explicando de forma sucinta o papel de cada um deles no modelo.

Janela móvel – Define o período de identificação dos pares. Como os dados utilizados possuem frequência diária, uma janela de um ano possui cerca de 250 dias de pregão.

Dia da primeira transação – Observação na qual se inicia o período de simulação.

Frequência de atualização – Frequência na qual os pares devem ser atualizados para cada ativo. Um mês possui cerca de 20 dias de pregão.

“ t ” – Limite que acusa um desvio anormal entre os ativos formadores do par.

C – Custo de transação expresso como percentual de cada transação. O valor utilizado será de 0,1%, padrão adotado nos estudos anteriores.

A *Figura 4* sumariza o esquema completo da nova estratégia, e sua comparação com a metodologia adotada por *Perlin (2007)*:

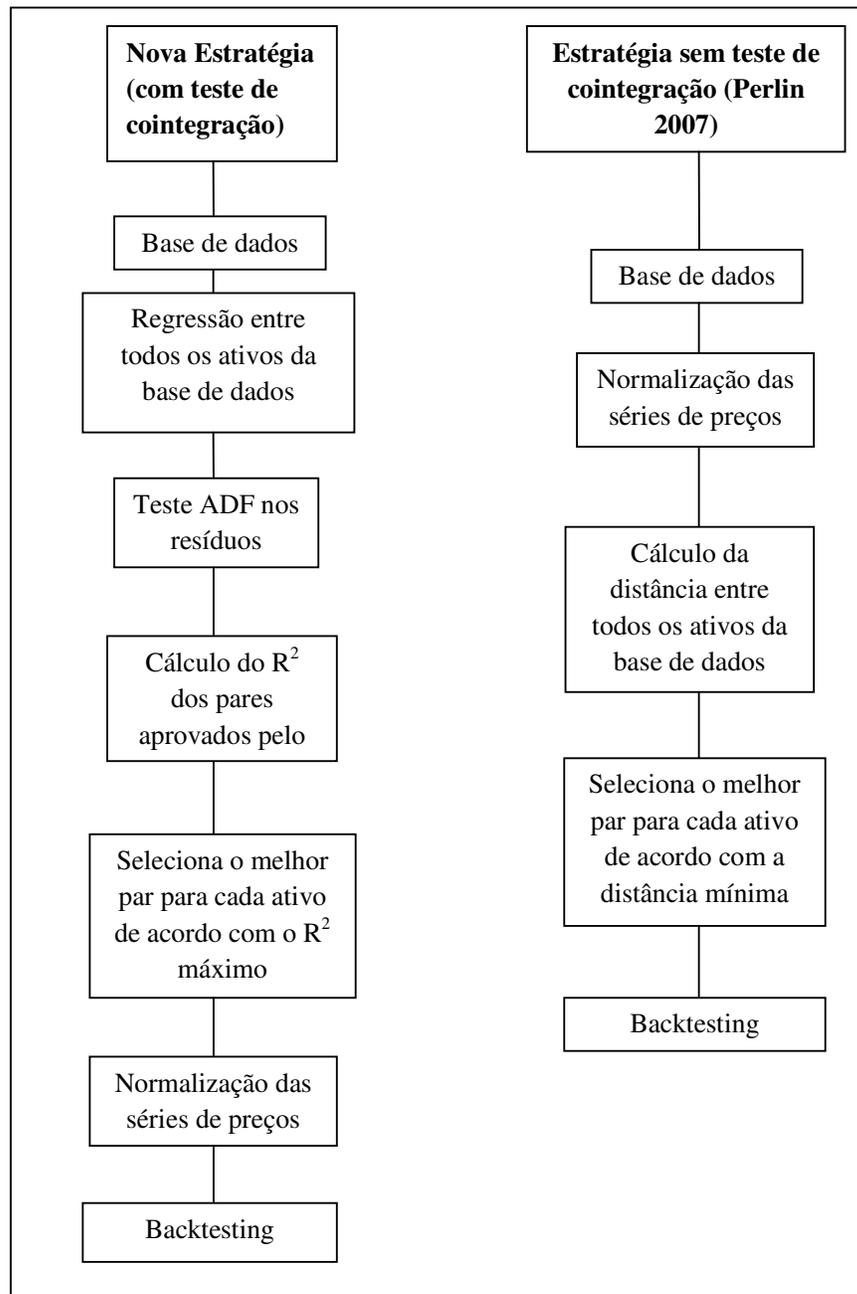


Figura 4 – Apesar da crítica de que regras mais complexas de simulação podem conduzir ao problema de *datasnooping*, pode ser interessante incluir um teste de cointegração no processo.

5) **DADOS**

Os ativos utilizados serão os negociados na Bolsa de Valores de São Paulo, mais especificamente aqueles que fazem parte do índice Ibovespa. A adoção desse procedimento deve-se à dificuldade em comprar e vender ações que possuam um volume diário negociado muito baixo. Logo, pode ser que o retorno advindo de operações com papéis de baixa liquidez que não fazem parte do índice não reflita a realidade. A amostra utilizada será composta pelos preços de fechamento das ações ajustados para proventos e dividendos⁶, no período de 2002-2008. Para os dias nos quais uma determinada ação não foi negociada, apenas repetimos o preço de fechamento do dia anterior.

No intuito de evitar problemas com dados faltando devido a mudanças na composição do índice, serão mantidas apenas as empresas que fizeram parte do índice durante todo o período analisado. No entanto, é importante reconhecer que a adoção dessa solução implica na possibilidade de existência de viés de sobrevivência nos resultados, pois estaremos simulando operações apenas com empresas vencedoras, isto é, que conseguiram se sustentar no mercado durante todos os anos analisados.

⁶ Bloomberg

6) RESULTADOS

6.1 PAIRS TRADING SEM TESTE DE COINTEGRAÇÃO

Uma vez determinado o método adotado nas simulações, é possível verificar se os dados corroboram os resultados dos estudos anteriores, isto é, se refutam a HME em sua versão mais fraca. Adicionalmente, variando as janelas de formação dos pares e o grau de tolerância dos desvios entre os preços dos ativos, pode-se realizar uma análise de sensibilidade no modelo, observando como os retornos advindos da estratégia de pairs trading variam com os parâmetros. Além disso, também será possível efetuar um comparativo dos resultados da estratégia proposta neste trabalho com a estratégia adotada por Perlin (2007), no intuito de confirmar a importância da incorporação do teste de Engle-Granger seguido do filtro do R^2 máximo. Para isso, testaremos primeiro a estratégia sem o teste formal de cointegração.

Na primeira simulação, foi utilizada uma janela móvel mais curta para o período de formação dos pares. Essa janela possui aproximadamente 6 meses (125 dias), e é atualizada a cada 25 dias à medida em que são executadas as operações. Adicionalmente, o limite de tolerância dos desvios (t), foi variado com incrementos de 0,1, no intervalo de 1,5 até 3,0.

Tabela 1

<i>Pairs Trading sem teste de Engle-Granger - Janela Móvel de 125 dias com atualização de 25 dias</i>							
<i>Limite (t)</i>	<i>Retorno Bruto (%)</i>			<i>Excesso de retorno sobre Estratégia ingênua</i>	<i>Número de operações Long & Short</i>	<i>Número de dias no mercado</i>	<i>Superou Estratégia Aleatória (% das vezes)</i>
	<i>Long</i>	<i>Short</i>	<i>Pares</i>				
1,50	61,6%	-141,9%	-54,5%	36,5%	921	1530	0,0%
1,60	86,4%	-89,2%	-15,7%	66,3%	862	1488	70,6%
1,70	151,8%	-56,1%	40,9%	117,4%	766	1415	100,0%
1,80	165,6%	-45,6%	49,5%	120,3%	687	1329	100,0%
1,90	113,3%	26,2%	56,5%	122,8%	644	1264	100,0%
2,00	103,8%	36,6%	60,2%	121,7%	584	1173	100,0%
2,10	60,0%	76,7%	62,1%	117,3%	519	1075	100,0%
2,20	89,1%	37,5%	55,4%	108,1%	458	1002	100,0%
2,30	63,3%	41,7%	44,9%	95,4%	402	919	100,0%
2,40	15,4%	28,0%	19,5%	65,5%	352	836	99,8%
2,50	5,9%	27,7%	14,4%	57,7%	323	755	99,1%
2,60	-14,3%	44,9%	10,5%	52,9%	283	697	98,5%
2,70	-37,9%	47,4%	-0,3%	39,9%	242	624	67,9%
2,80	23,0%	51,7%	32,0%	69,1%	213	553	100%
2,90	9,2%	29,8%	15,6%	51,0%	190	501	99,9%
3,00	16,6%	9,5%	9,8%	43,6%	161	438	98,70%

Como era de se esperar, na medida em que aumentamos o grau de tolerância nos desvios entres os preços dos ativos (nos tornamos mais rigorosos para efetuar uma operação), o número de operações decresce juntamente com o número de dias em que a estratégia atua no mercado. O retorno absoluto, assim como o excesso de retorno tanto sobre a estratégia ingênua aumentam com o limite de tolerância t , mas decrescem quando esse limite se torna muito alto. Uma possível explicação para esse padrão é que níveis muito baixos de t implicam num grande número de operações cujos custos destroem os lucros. Quando t é aumentado, o número de operações cai e o retorno aumenta, mas para níveis muito altos, boas oportunidades de arbitragem são perdidas e o retorno cai.

Excetuando níveis de tolerância muito baixos (1,50 e 1,60), a estratégia com a janela de aprendizado de 125 dias parece ser bastante consistente, pois foi capaz de superar a estratégia aleatória na maioria dos testes, mostrando que os retornos obtidos não são oriundos do acaso, além de apresentar excesso de retorno sobre a estratégia simples. Adicionalmente, esta foi a configuração que obteve o maior retorno bruto (com $t=2,10$).

Já na segunda simulação, foi utilizada uma janela “média”, contendo aproximadamente um ano (250 dias). O mesmo procedimento da variação do parâmetro t e atualização periódica de 25 dias foi mantido. A tabela 2 sintetiza os resultados obtidos.

Tabela 2

<i>Pairs Trading sem teste de Engle-Granger - Janela Móvel de 250 dias com atualização de 25 dias</i>								
<i>Limite (t)</i>	<i>Retorno Bruto (%)</i>			<i>Excesso de retorno sobre Estratégia ingênua</i>	<i>Número de operações</i>		<i>Número de dias no mercado</i>	<i>Superou Estratégia Aleatória (% das vezes)</i>
	<i>Long</i>	<i>Short</i>	<i>Pares</i>		<i>Long & Short</i>			
1,50	-5,4%	-79,06%	-46,3%	57,1%	660		1333	0,0%
1,60	3,1%	-106,7%	-60,1%	34,5%	589		1267	0,0%
1,70	-23,7%	-106,7%	-72,8%	9,6%	517		1192	0,0%
1,80	24,1%	-113,9%	-46,0%	27,1%	457		1115	0,0%
1,90	16,3%	-40,6%	-17,4%	50,0%	393		1028	6,8%
2,00	39,6%	-60,4%	-18,5%	42,2%	346		932	8,3%
2,10	39,9%	-9,3%	15,0%	68,2%	311		840	99,2%
2,20	43,4%	12,8%	28,4%	77,5%	279		754	100,0%
2,30	13,0%	48,0%	30,0%	75,2%	238		686	100,0%
2,40	6,4%	76,1%	34,7%	76,2%	215		622	100,0%
2,50	-0,7%	84,2%	36,0%	75,5%	194		553	100,0%
2,60	-21,2%	144,9%	56,0%	93,6%	168		475	100,0%
2,70	-53,7%	146,5%	43,0%	77,6%	138		412	100,0%
2,80	-35,3%	143,1%	49,4%	82,1%	121		358	100,0%
2,90	-22,0%	98,6%	34,6%	64,8%	102		320	100,0%
3,00	-26,7%	117,6%	42,1%	70,5%	93		283	100,0%

Como pode ser observada, a relação positiva entre o aumento do nível de t e os retornos parece ser bem semelhante à encontrada com a janela móvel mais curta. No entanto, a aplicação da janela de um ano (250 dias) não parece fornecer retornos tão consistentes quanto os obtidos na primeira simulação. É importante notar que até o nível $t = 2,00$ a estratégia não consegue superar uma carteira completamente aleatória na maioria das n tentativas. Isto significa que, para valores menores de t , apesar da configuração de 250 dias comportar-se bem contra o *benchmark* composto pela estratégia ingênua (Figura 6), esses retornos podem ter sido obtidos por sorte.

Na terceira e última simulação, para refletir um prazo mais longo, foi utilizada uma janela de aproximadamente dois anos (500 dias). Repetindo a metodologia utilizada nas simulações anteriores, foram obtidos os resultados expostos na tabela 3.

Tabela 3

<i>Pairs Trading sem teste de Engle-Granger - Janela Móvel de 500 dias com atualização de 25 dias</i>							
<i>Limite (t)</i>	<i>Retorno Bruto (%)</i>			<i>Excesso de retorno sobre Estratégia ingênua</i>	<i>Número de operações Long & Short</i>	<i>Número de dias no mercado</i>	<i>Superou Estratégia Aleatória (% das vezes)</i>
	<i>Long</i>	<i>Short</i>	<i>Pares</i>				
1,50	53,8%	-1,3%	32,3%	80,7%	353	940	100,0%
1,60	88,0%	-32,3%	31,4%	73,0%	290	860	100,0%
1,70	97,0%	-7,2%	41,1%	76,1%	266	737	100,0%
1,80	94,3%	13,0%	47,9%	79,9%	221	632	100,0%
1,90	75,4%	55,7%	57,6%	88,2%	190	536	100,0%
2,00	21,5%	78,0%	48,2%	77,1%	168	456	100,0%
2,10	55,0%	48,5%	48,1%	75,4%	145	392	100,0%
2,20	10,7%	64,4%	35,9%	60,2%	103	320	100,0%
2,30	28,6%	67,1%	45,8%	68,4%	88	272	100,0%
2,40	13,4%	26,7%	17,7%	39,9%	78	232	99,8%
2,50	-22,9%	35,7%	4,3%	25,8%	71	195	91,2%
2,60	-0,3%	24,6%	10,0%	30,1%	59	158	99,2%
2,70	-11,1%	29,9%	1,2%	20,4%	48	123	75,3%
2,80	-4,2%	26,6%	2,2%	21,0%	42	99	83,5%
2,90	6,9%	23,9%	7,5%	26,2%	34	86	98,5%
3,00	26,2%	28,7%	22,9%	41,5%	24	61	100,0%

A relação entre t e os retornos corrobora os resultados encontrados nas simulações anteriores. No entanto, é importante notar que a configuração com a janela de 500 dias é a única a apresentar retornos positivos para todos os níveis de t (Figura 5), além de se mostrar robusta em relação não só à estratégia ingênua, mas como também à simulação de Monte-Carlo (Figura 7).

Um ponto a ser ressaltado é que quando aumentamos a janela móvel, o número de transações apresenta níveis diferentes para cada uma das janelas, sendo

a menor a janela com o maior número de operações e a maior com o menor número de operações (Figura 8). Isso pode ser a explicação da maior consistência dos retornos quando utilizamos a janela de dois anos para o período de identificação dos pares, pois menos custos de transação levam a retornos mais elevados.

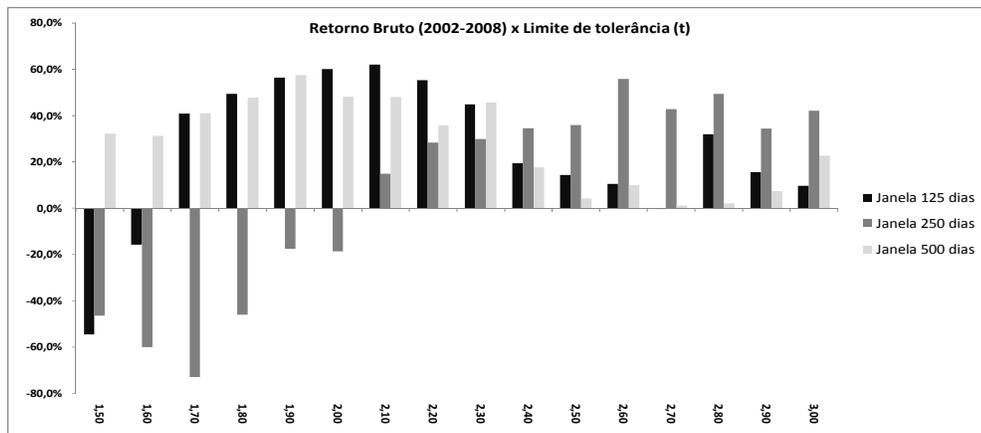


Figura 5 – O retorno bruto mais alto é obtido na janela mais curta, porém apenas a janela longa apresentou retorno positivo para todos os níveis de t.

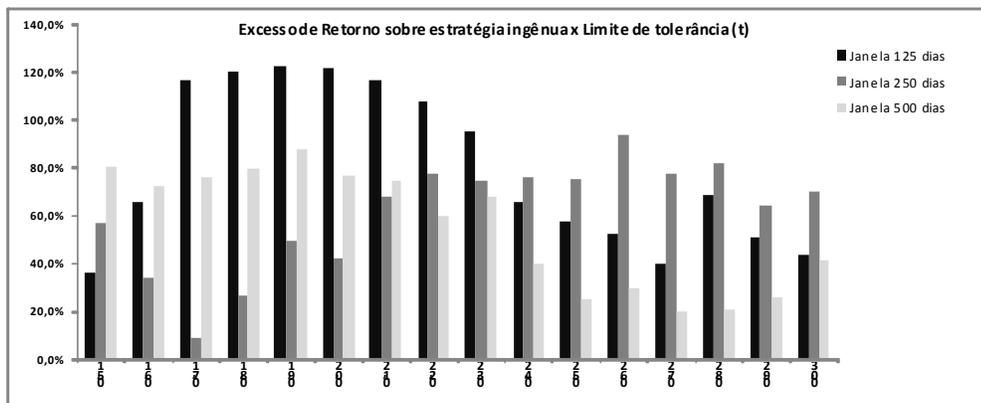


Figura 6 – A utilização da janela curta parece ser mais lucrativa para níveis mais baixos de t, e a janela média parece dominar para níveis mais altos de t.

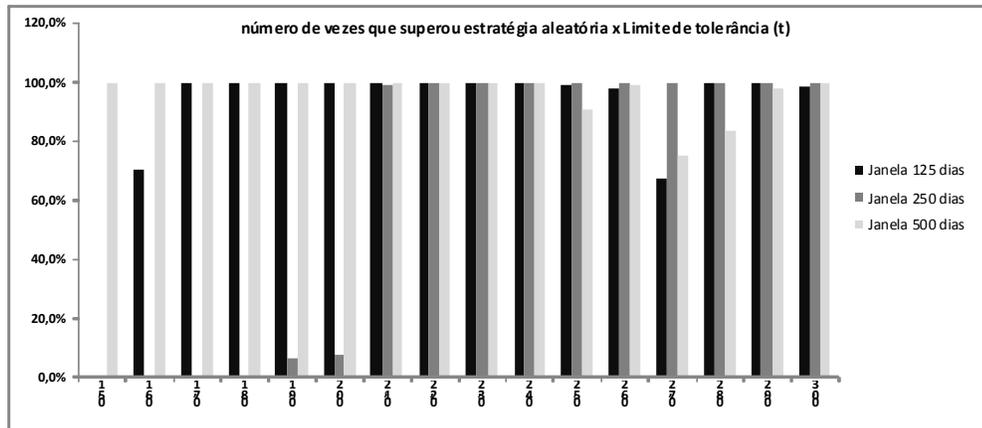


Figura 7 – A janela mais longa permanece a mais consistente.

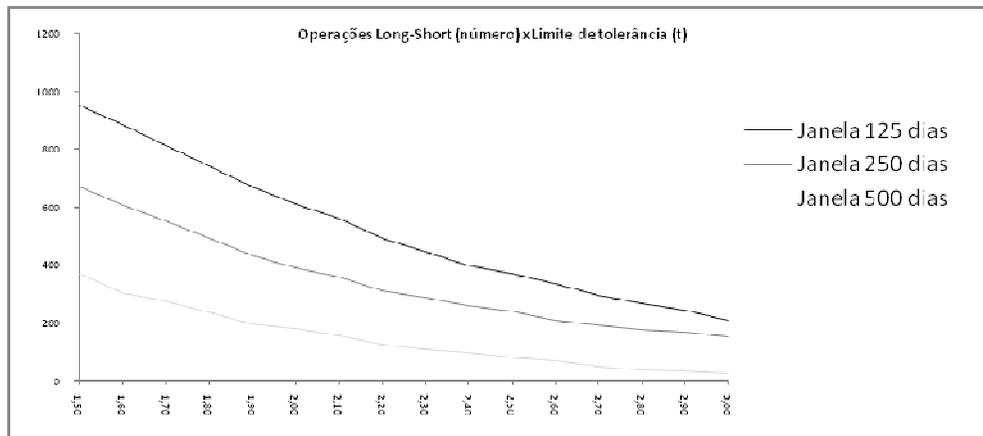


Figura 8 – Além do número de operações decrescer à medida que aumentamos t , quanto maior a janela menor o número de transações para todos os níveis de t .

6.2 PAIRS TRADING COM TESTE DE COINTEGRAÇÃO

Um dos objetivos deste trabalho é investigar a importância de um teste formal de cointegração no processo de identificação e formação dos pares. Tendo isso em vista, torna-se relevante efetuar uma comparação do desempenho da estratégia com teste de cointegração (Engle-Granger) com o desempenho da estratégia sem o teste de cointegração (Perlin 2007).

Dentro desse contexto, devem ser realizadas simulações com os mesmos critérios adotados anteriormente, porém utilizando o algoritmo da estratégia que envolve o procedimento de Engle-Granger na seleção dos pares. As tabelas 4,5 e 6 e as figuras 9,10 e 11 resumem os resultados obtidos.

Tabela 4

<i>Pairs Trading com teste de Engle-Granger - Janela Móvel de 125 dias com atualização de 25 dias</i>							
Limite (t)	Retorno Bruto (%)			Excesso de retorno sobre Estratégia ingênua	Número de operações	Número de dias no mercado	Superou Estratégia Aleatória (% das vezes)
	Long	Short	Pares				
1,50	-4,6%	-82,7%	-51,7%	60,0%	954	1556	0,2%
1,60	12,3%	-64,4%	-33,4%	68,4%	887	1515	15,9%
1,70	79,4%	-3,7%	21,6%	114,8%	816	1461	100,0%
1,80	93,9%	12,1%	36,3%	123,5%	745	1401	100,0%
1,90	102,7%	37,5%	56,1%	139,2%	672	1337	100,0%
2,00	70,2%	56,6%	54,3%	129,7%	615	1273	100,0%
2,10	75,7%	91,5%	74,6%	143,7%	561	1199	100,0%
2,20	84,9%	69,8%	68,3%	134,0%	494	1133	100,0%
2,30	69,6%	57,9%	51,2%	113,7%	447	1048	100,0%
2,40	10,4%	53,3%	19,3%	77,9%	400	975	99,8%
2,50	-22,1%	58,1%	4,2%	59,1%	370	908	95,3%
2,60	-44,4%	86,5%	10,2%	62,2%	336	855	97,7%
2,70	-42,6%	60,5%	1,1%	49,6%	297	790	79,1%
2,80	24,8%	39,3%	26,6%	71,2%	267	722	100%
2,90	51,1%	-22,5%	10,7%	53,0%	243	651	98,7%
3,00	75,2%	-51,3%	12,1%	52,8%	209	575	99,30%

Tabela 5

<i>Pairs Trading com teste de Engle-Granger - Janela Móvel de 250 dias com atualização de 25 dias</i>							
Limite (t)	Retorno Bruto (%)			Excesso de retorno sobre Estratégia	Número de operações	Número de dias no mercado	Superou Estratégia Aleatória (% das vezes)
	Long	Short	Pares				
1,50	39,1%	-113,35%	-42,4%	119,0%	672	1386	0,5%
1,60	51,9%	-95,9%	-36,4%	116,1%	608	1361	0,4%
1,70	26,9%	-87,2%	-44,3%	97,2%	554	1312	0,0%
1,80	44,8%	-106,5%	-45,1%	86,7%	492	1262	0,0%
1,90	39,6%	-42,8%	-15,0%	110,8%	432	1197	25,2%
2,00	13,5%	-20,3%	-21,4%	94,9%	390	1131	3,8%
2,10	22,4%	-4,5%	-10,4%	97,9%	358	1072	33,2%
2,20	23,6%	-6,4%	-8,2%	95,0%	312	1026	43,7%
2,30	-12,6%	58,6%	4,6%	102,5%	285	973	96,6%
2,40	5,7%	69,9%	13,9%	105,4%	261	930	99,3%
2,50	29,6%	67,7%	26,1%	113,2%	238	883	100,0%
2,60	47,5%	117,8%	64,3%	147,0%	209	837	100,0%
2,70	24,5%	83,2%	37,2%	113,1%	192	788	100,0%
2,80	33,9%	55,1%	32,7%	103,4%	177	741	100,0%
2,90	47,4%	8,1%	15,9%	81,1%	166	689	100,0%
3,00	35,5%	39,5%	27,3%	86,9%	152	622	99,9%

Tabela 6

<i>Pairs Trading com teste de Engle-Granger - Janela Móvel de 500 dias com atualização de 25 dias</i>							
Limite (t)	Retorno Bruto (%)			Excesso de retorno sobre Estratégia	Número de operações	Número de dias no mercado	Superou Estratégia Aleatória (% das vezes)
	Long	Short	Pares				
1,50	28,8%	-5,3%	16,7%	103,1%	373	973	99,9%
1,60	68,9%	-15,5%	26,9%	105,9%	305	892	100,0%
1,70	28,5%	21,2%	20,4%	94,4%	277	805	100,0%
1,80	29,7%	47,0%	31,6%	101,7%	239	731	100,0%
1,90	20,3%	39,8%	18,4%	84,8%	199	654	99,6%
2,00	40,9%	59,4%	48,3%	111,4%	180	574	100,0%
2,10	60,6%	41,2%	50,6%	109,6%	156	523	100,0%
2,20	16,3%	46,7%	28,2%	84,0%	125	460	100,0%
2,30	14,1%	87,2%	41,8%	93,4%	111	390	100,0%
2,40	33,2%	54,8%	43,8%	91,8%	99	340	100,0%
2,50	2,3%	52,0%	26,9%	71,0%	83	284	100,0%
2,60	-3,2%	49,1%	22,7%	62,9%	69	228	100,0%
2,70	3,6%	28,9%	16,0%	52,9%	49	184	100,0%
2,80	-19,5%	37,0%	8,6%	44,2%	39	157	99,3%
2,90	-20,0%	35,0%	7,4%	42,0%	34	141	98,8%
3,00	-12,4%	37,4%	12,4%	45,6%	26	115	99,8%

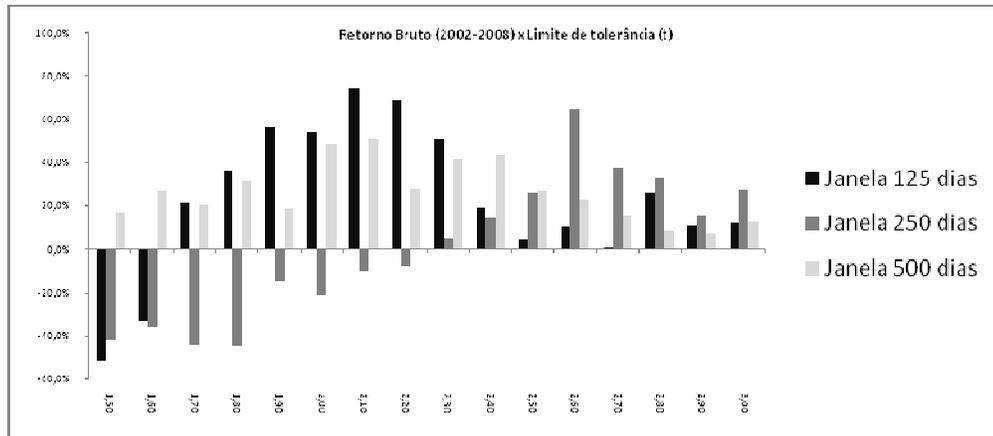


Figura 9 – A configuração com a janela de 500 dias foi a única que apresentou retorno bruto positivo para todos os níveis de tolerância. No entanto, o maior retorno absoluto foi obtido na configuração de 125 dias.

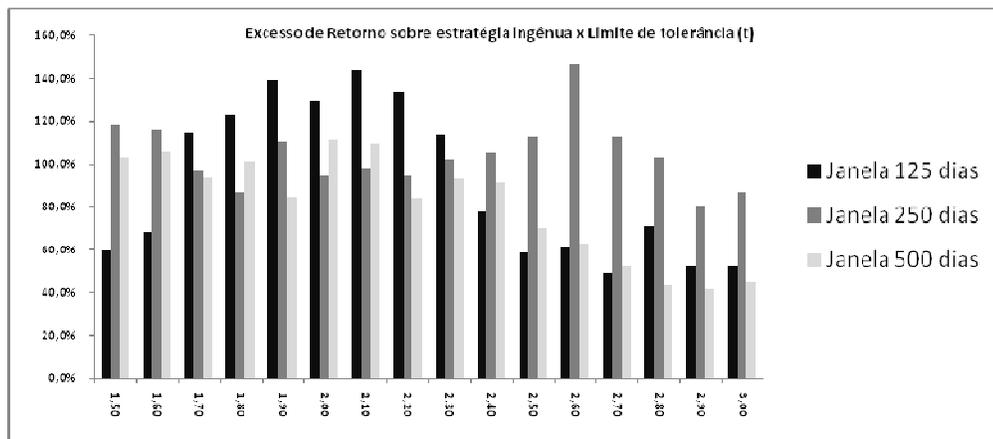


Figura 10 – Contra a estratégia simples, a configuração de 125 dias parece dominar para níveis de tolerância mais baixos e a janela de 250 dias é a mais robusta para valores mais altos de t.

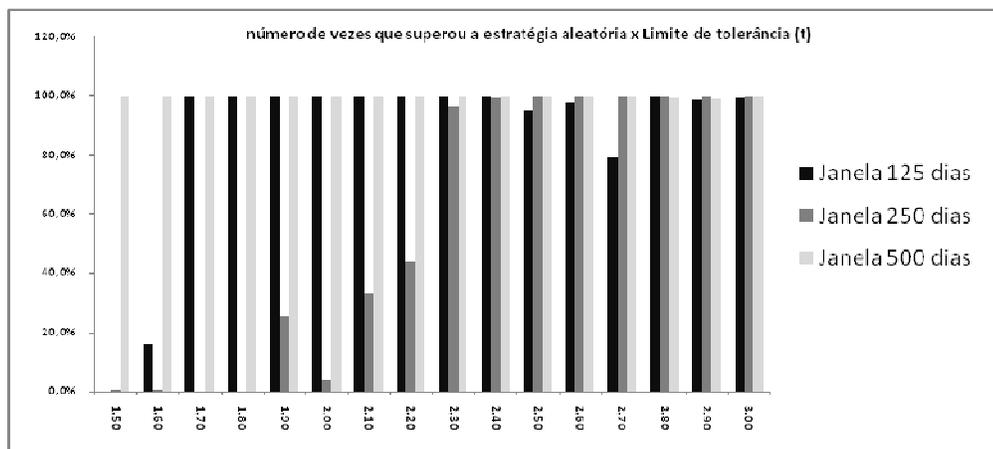


Figura 11 – Ao comparar com uma carteira aleatória, a configuração de 500 dias parece ser a mais consistente, no sentido de que os retornos não se devem a pura chance.

Como pode ser observado, o comportamento da estratégia com o teste formal de cointegração é bastante semelhante à estratégia anterior quando variamos a janela móvel de aprendizado e também os níveis de tolerância dos desvios entre os preços, apenas com ligeiras diferenças em relação à consistência dos retornos na janela mais longa para valores mais altos de t .

No entanto, ainda é necessário um agrupamento de todas essas estatísticas, no intuito de obter uma resposta a respeito da importância da inserção do teste de cointegração nos retornos da estratégia de *pairs trading*.

Antes de passarmos para a fase das comparações, alguns pontos devem ser ressaltados. Apesar de todas as simulações realizadas terem mostrado retornos positivos, não se pode dizer que estes são estatisticamente significantes sem testar a hipótese de que o alfa de Jensen é maior que zero, assim como também não podemos afirmar que a estratégia de *pairs trading* é neutra ao mercado sem testarmos a hipótese que o β da estratégia é igual a zero. Perlin 2007 ao realizar esses testes para a estratégia de *pairs trading* no mercado brasileiro, constata que o β da estratégia é estatisticamente igual a zero mas que apesar dos alfas serem positivos, não são estatisticamente significantes.

Cabe ainda lembrar, que nos estudos anteriores, a base de dados englobava apenas um mercado de alta, de forma que o retorno obtido provinha em grande parte das posições compradas. Ao incluir o ano de 2008 na base de dados, foi adicionado um período de forte baixa da bolsa de valores. O reflexo disso pode ser visto pelo significativo aumento da contribuição das posições vendidas para os retornos das operações.

6.3 COMPARAÇÕES

Uma forma bastante simples de comparar os retornos obtidos pelas duas metodologias utilizadas na estratégia de *pairs trading* é agrupando os dados e observando qual delas obteve melhor desempenho para todas as janelas móveis e valores de t em relação ao benchmark simples e à simulação de Monte Carlo. As figuras que se seguem confrontam claramente as duas estratégias.

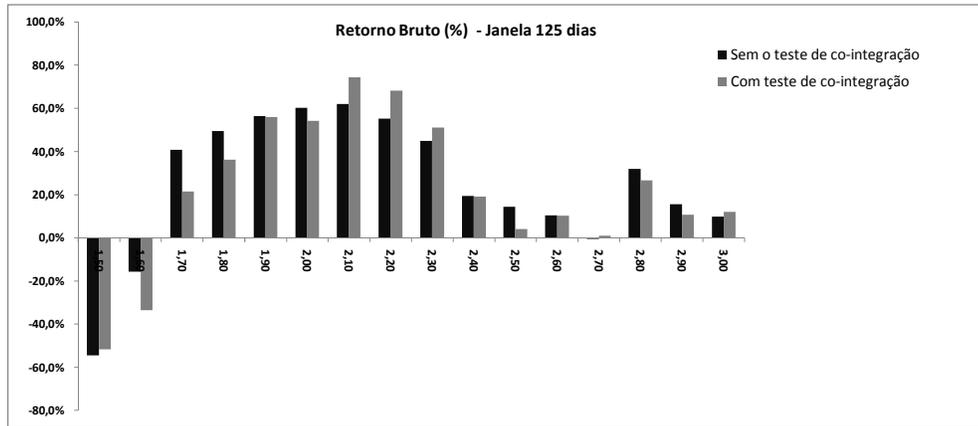


Figura 12 – O retorno bruto é semelhante para ambas as estratégias para a janela de 125 dias.

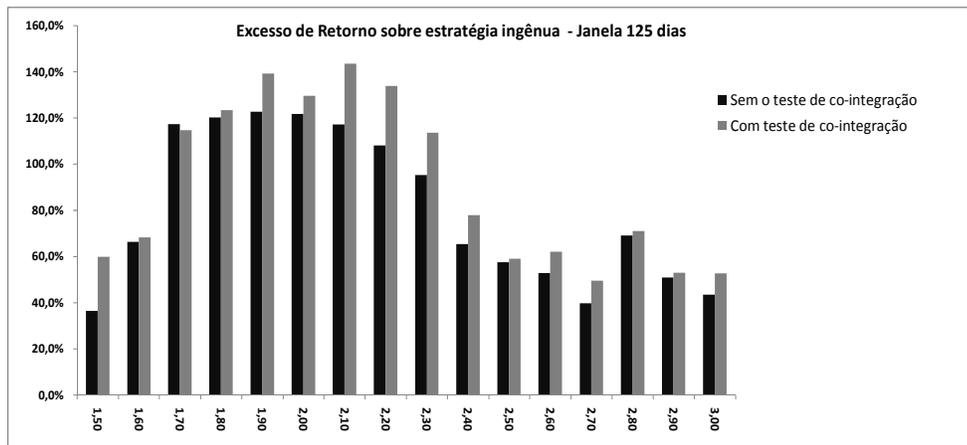


Figura 13 – Do ponto de vista do desempenho relativo, a estratégia com o teste de co-integração parece ser ligeiramente superior para a janela de 125 dias.

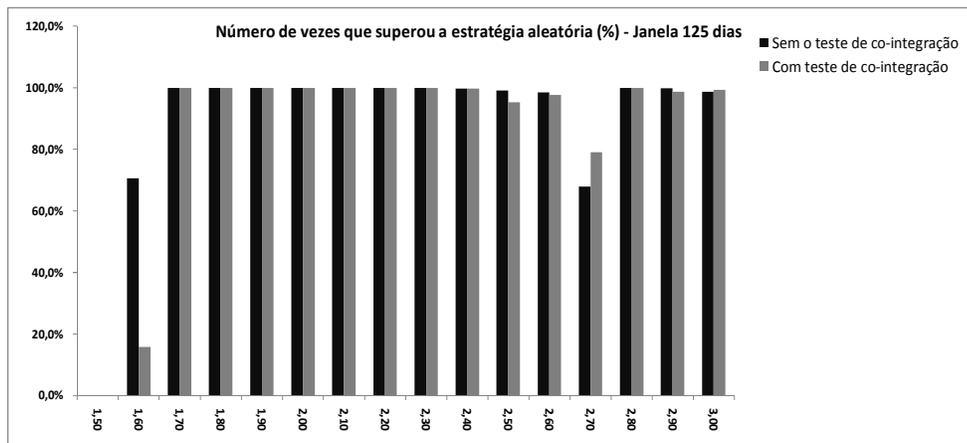


Figura 14 – Os retornos de ambas as estratégias não foram obtidos ao acaso, isto é, a estratégia de pairs trading possui algum valor.

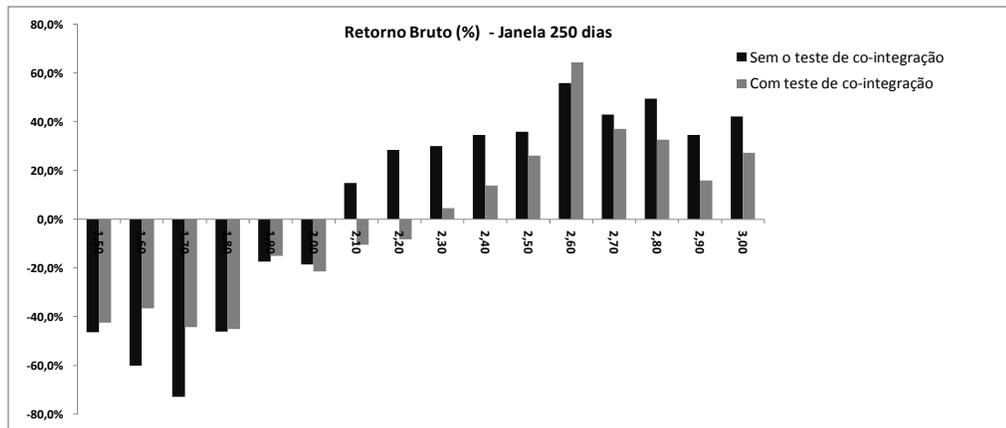


Figura 15 – O retorno bruto é semelhante para ambas as estratégias para a janela de 250 dias.

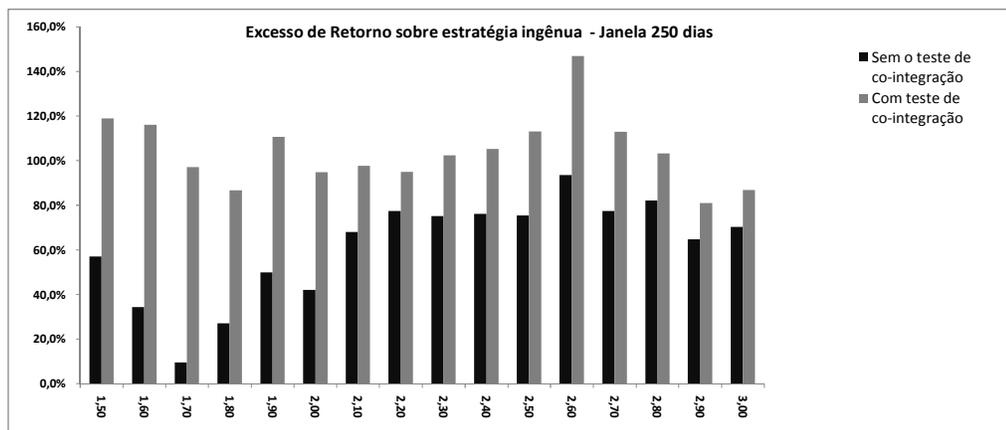


Figura 16 – Para a janela média, o desempenho da estratégia com o teste de cointegração parece ser superior.

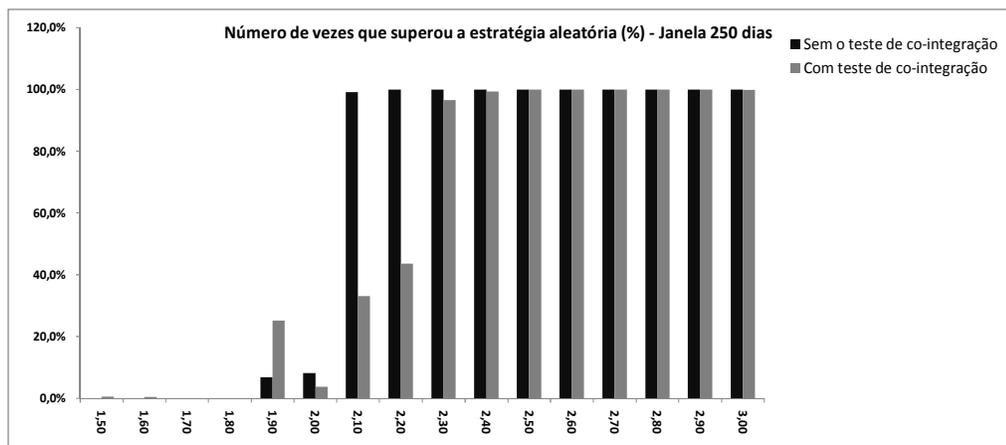


Figura 17 – No entanto, apenas os lucros obtidos só são significativos para valores mais elevados de t.

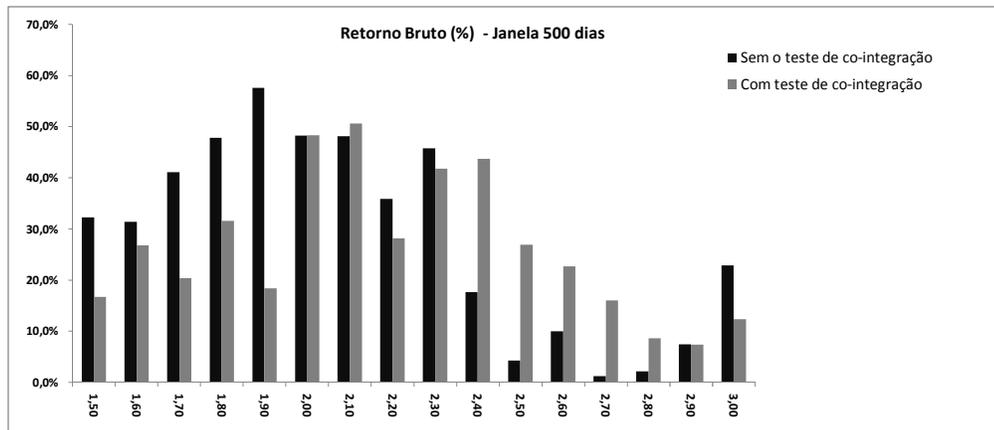


Figura 18 – Na janela mais longa, a estratégia sem o teste de cointegração parece ser melhor para níveis mais baixos de t , enquanto que para níveis mais altos de t , a estratégia com o teste obteve maior retorno bruto.

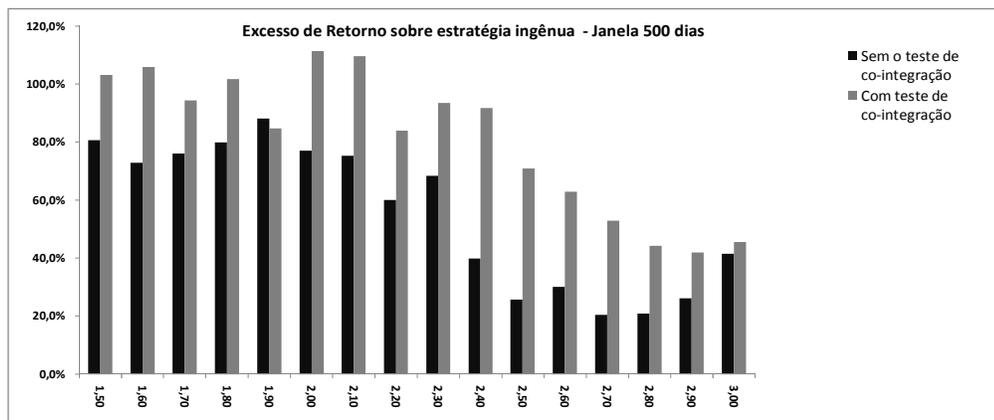


Figura 19 – Novamente, a estratégia com o teste de cointegração é superior do ponto de vista do desempenho relativo.

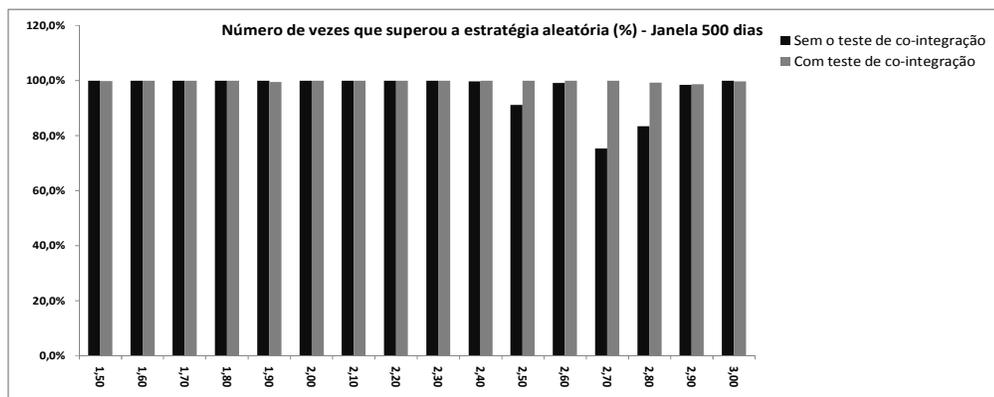


Figura 20 – As duas estratégias possuem valor, dado que os retornos não se originam do puro acaso.

Tendo em vista os resultados expostos nos comparativos, pode-se perceber que a estratégia com o teste de cointegração parece adicionar valor à estratégia de pairs trading. Ambos os métodos (com e sem o teste de cointegração), se sustentam quando defrontados com a simulação de Monte-Carlo. Controlando para esse fator, e considerando o desempenho relativo à estratégia ingênua, pode-se considerar que os retornos da estratégia de pairs trading parecem ter sido incrementados com a inclusão do teste de cointegração juntamente com o filtro do R^2 máximo no critério de seleção dos pares.

Um ponto a ser notado é o fato dos resultados terem variações e magnitudes muito parecidas para ambas as metodologias utilizadas. Esse resultado já era esperado, pois ambos os métodos pretendem encontrar ativos que são cointegrados. A diferença é que a nova estratégia realiza operações apenas com ativos que são cointegrados, enquanto que a estratégia da seleção dos pares pela distância mínima tenta capturar o “melhor possível”, permitindo que operações com ativos que não são cointegrados também sejam realizadas.

7) CONCLUSÃO

A indústria de fundos multimercados cada vez mais se utiliza de estratégias quantitativas no intuito de obter retornos positivos e sustentáveis. Após fazer uma breve descrição da estratégia de pairs trading, foram apresentados a teoria e o instrumental necessários para a implementação do modelo e das simulações.

Os retornos positivos obtidos reafirmam os resultados encontrados pelos estudos anteriores, refutando a hipótese da eficiência de mercado em sua versão mais fraca. Isto porque foi possível extrair rentabilidade de uma estratégia baseada apenas em séries históricas de preços.

Após realizada uma análise de sensibilidade dos retornos em relação ao tamanho da janela móvel de aprendizado, foi possível constatar que parece ser melhor usar uma janela muito curta (6 meses) ou uma muito longa (2 anos), visto que a janela média (1 ano) mostrou desempenho inferior. Ainda, a janela longa se mostrou mais robusta para todos os níveis de tolerância t , e isto pode ter sido obtido em função dos menores custos de transação.

Em relação ao critério de formação e seleção dos pares, foram analisados dois critérios. Um deles, não incorporava um teste formal de cointegração, e era baseado no método da distância mínima e o outro envolvia a detecção dos pares com reversão à média pelo procedimento de Engle-Granger e posteriormente um filtro que seleciona apenas o par com o maior R^2 da regressão entre os ativos. Tendo em vista o desempenho relativo à carteira “ingênua” há indícios de que a inclusão do teste de cointegração juntamente com o filtro do R^2 contribui para um retorno mais alto, apesar das comparações realizadas serem muito simples.

Em suma, o mercado de ações não parece ser totalmente eficiente. Oportunidades de arbitragem surgem e são aproveitadas pelos agentes que são remunerados para devolver o equilíbrio ao mercado. Além disso, a seleção da janela de aprendizado assim como o rigor na escolha dos parâmetros do modelo, podem influenciar de forma significativa os retornos da estratégia de *pairs*

trading, sugerindo que o aperfeiçoamento da mesma ainda é uma área a ser mais explorada.

8) BIBLIOGRAFIA

BODIE, Z.; KANE, A.; MARCUS, A. Investments. John Wiley & Sons, 2008.

BROOKS, C. Introductory Econometrics for Finance. Cambridge University Press, 2008.

DUNIS, C. L.; LAWS, J.; NAIM, P. Applied Quantitative Methods for Trading and Investment. John Wiley & Sons, 2003.

ENDERS, W. Applied Econometric Time Series. John Wiley & Sons, 2003.

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

FAMA, E. F. Tomorrow on the New York Stock Exchange. *Journal of Business*, v.38, p.285-299, 1965.

FAMA, E. F. Efficient Markets: II, Fiftieth Anniversary Invited Paper. *Journal of Finance*, v.46, p.1575-1617, 1991.

FAMA, E. F.; FRENCH, K. R. The Cross-Section of Expected Stock Returns. *Journal of Finance*, v. 47, p. 427-465, 1992.

GATEV, E. ; GOETZMANN, W. N.; ROUWENHORST, K. G. Pairs Trading:

Performance of a Relative Value Arbitrage Rule. Working Paper, Yale University, 2003. Pairs Trading: Performance of a Relative Value Arbitrage Rule. *The review of Financial Studies*. v. 19, p.797-827, 2006.

GRANGER, C.; NEWBOLD, P. Spurious Regressions in Econometrics. *Journal of Econometrics* v.2, p.111-120, 1974.

GREENE, W. *Econometric Analysis*. McGraw-Hill, 2008.

JACOBS, B.; LEVY, K. *Market Neutral Strategies*, John Wiley & Sons, 2005.

LAMONT, A.; THALER, R. Anomalies: The Law of One Price in Financial Markets. *Journal of Economic Perspectives* v. 17, n.4, p. 191–202, 2003.

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

PERLIN, M., Evaluation of Pairs Trading Strategy at the Brazilian Financial Market. Working Paper, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

ROZEFF, M.; KINNEY, W. Capital Market seasonality: The Case of Stock Returns, *Journal of Financial Economics*, v.3, n.4, p.379-402, 1976.

TAKIMOTO, E., A Estratégia Pairs Trading no Mercado de Ações Brasileiro, Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Economia, Faculdade Ibmec São Paulo, 2007.

TITMAN, S. Returns to buying winners and Selling losers: Implications for stock market efficiency. *Journal of Finance*. v. 48, p. 65-91, 1993.

VIDYAMURTHY, G. Pairs Trading: Quantitative Methods and Analysis. John Wiley & Sons, 2004.