

PAIRS TRADING: OTIMIZANDO VIA MÉTODO DA COINTEGRAÇÃO VERSUS DISTÂNCIA PARA ATIVOS DO S&P500*

PAIRS TRADING: OPTIMIZING VIA COINTEGRATION VERSUS DISTANCE METHOD FOR S&P500 ASSETS

Bruno Kalil Medeiros**

Fernando A. B. Sabino da Silva***

RESUMO

Neste artigo desenvolveu-se um algoritmo de investimento que aplica a estratégia de Pairs Trading nas ações de S&P500 no período de 1990 a 2015, marcado por fortes crises econômicas. Através da utilização dos métodos da distância e cointegração para formação dos pares, buscou-se validar a possibilidade de obtenção de lucros através da arbitragem estatística no mercado financeiro. Os retornos anormais obtidos foram de 1,42% e 11,86% ao ano para as técnicas de distância e cointegração, respectivamente. Ademais, o artigo testou variações em parâmetros diretamente relacionados com a rentabilidade - tais como o uso de *stop loss*, limite de duração e gatilhos de operações - visando potencializar o retorno do portfólio.

ABSTRACT

In this article, a trading algorithm was developed that applies the Pairs Trading strategy to S&P500 stocks from 1990 to 2015, a period marked by strong economic crises. Through the use of distance and cointegration methods to form pairs, the possibility of obtaining profits through statistical arbitrage in the financial market was validated. The excess annualized returns obtained were 1.42% and 11.86% for the distance and cointegration techniques, respectively. In addition, the article tested variations in parameters directly related to profitability - such as the use of stop loss, duration limit, and operation triggers - aiming to maximize portfolio returns.

Keywords: Pairs Trading. Arbitragem Estatística. Distância. Cointegração.

1 INTRODUÇÃO

No trabalho se busca validar se a técnica de Pairs Trading apresenta retornos significativos no mercado acionário americano no período de 1990 a 2015, o qual engloba diversas crises econômicas que afetaram fortemente a performance do índice S&P500. De acordo com Huck (2015), a metodologia da cointegração se mostrou rentável até mesmo em cenários de crises internacionais como a de 2008 e, portanto, o trabalho visa comparar tal técnica à abordagem tradicional da distância.

* Trabalho de Conclusão de Curso apresentado, no primeiro semestre de 2023, ao Departamento de Economia e Relações Internacionais da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

** Department of Economics, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS 90040-000, Brazil. E-mail: bruno.kalil07@gmail.com

*** Department of Economics, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS 90040-000, Brazil. E-mail: fsabino@ufrgs.br

O comparativo entre diferentes métodos de formação de pares se mostra ainda muito relevante na literatura. Apesar da abordagem da distância ter se tornado um *benchmark* para a rentabilidade da técnica de Pairs Trading - visto que o principal artigo da literatura utiliza ela (Gatev *et al.*, 2006) -, diversos trabalhos demonstraram que seus retornos começaram a decrescer a partir de 2002 (Do; Faff, 2010; Do; Faff, 2012), sendo diversas vezes superados por outros métodos (Caldeira; Moura, 2013; Huck, 2015; Ramos-Requena *et al.*, 2017), porém não de forma unânime (Rad *et al.*, 2016).

Além disso, a importância de um estudo da estratégia reside na ascensão ao longo das últimas décadas da aplicação de métodos quantitativos no mercado financeiro. Esse movimento é caracterizado pela proliferação dos *hedge funds* nos mais diversos mercados internacionais, os quais buscam se aproveitar das oportunidades de arbitragem estatística para incorrer em retornos maiores (Treleaven *et al.*, 2013). Dentre seu vasto arsenal de técnicas, o Pairs Trading pode ser considerada uma das mais fundamentais, tanto por sua simplicidade como por sua grande disseminação.

Inicialmente formalizada na década de 80, a técnica ganhou destaque nesta literatura acadêmica a partir do trabalho de Gatev *et al.* (2006), onde aplicou-se a estratégia ao mercado acionário americano. Através do uso de uma metodologia relativamente simples para formação dos pares, demonstrou-se que era possível realizar lucros anormais expressivos, na ordem de 11% ao ano. Entretanto, diversos trabalhos posteriores buscaram reavaliar os resultados encontrados em diferentes períodos e condições (Do; Faff, 2010; Do; Faff, 2012; Huck, 2015). Com isso, constatou-se que a metodologia utilizada por Gatev *et al.* (2006) vinha resultando em retornos decrescentes, até o ponto em que a estratégia não era mais rentável em cenários onde os custos das transações eram incorporados ao modelo.

De acordo com a literatura, tais retornos obtidos pela técnica ao longo dos anos se originaram de *delays* na incorporação de novas notícias comuns (como as macroeconômicas) nos preços das duas pontas do par (Chen *et al.*, 2017; Jacobs; Weber, 2015). Isso ocorre, principalmente, por um excesso ou falta de atenção dos agentes do mercado em algum dos ativos. Entretanto, o final do século XX e começo do século XXI foram marcados pela forte digitalização das informações devido aos grandes avanços da internet, bem como uma maior adesão dos investidores pessoa física aos mercados acionários. Tais movimentos podem acarretar, conseqüentemente, em uma diminuição das oportunidades de arbitragem estatística, visto que estas podem ser exploradas por mais investidores e de forma mais fácil, impactando o retorno gerado por operação.

Assim, novos estudos se propuseram a testar diferentes metodologias para otimizar o processo de formação de pares (Caldeira; Moura, 2013; Huck 2015), justamente por esta etapa ser a principal determinante da rentabilidade do portfólio. Dentre as abordagens utilizadas, o método da cointegração se mostrou de grande eficácia, em especial pelo maior embasamento teórico econométrico que esta fornecia. Através da formação de pares cointegrados, obteve-se retornos positivos anormais nas mais diversas situações, incluindo com a incorporação dos custos de transações e até mesmo em períodos de crises internacionais, como a de 2008.

Entretanto, Rad *et al.* (2016) apresentam resultados opostos, onde a técnica da distância incorre em retornos maiores independente do período analisado. Isto se deve, principalmente, à alta dependência dos resultados na metodologia utilizada, onde os retornos fora da amostra podem variar significativamente com base nas condições empregadas no período de formação dos pares. Assim, o artigo também visa explorar diferentes filtros adicionais em busca de uma melhoria na performance da técnica, os quais englobam limitação no tempo da operação em dias, uso de *stop loss* e diferentes

gatilhos de abertura e encerramento das operações (definidos em termos de desvios-padrão da média do spread).

Por fim, destaca-se a importância da base de dados selecionada, onde há um tratamento para o viés de sobrevivência (*survivorship bias*) dos ativos do S&P500. O enviesamento da amostra neste sentido é um problema comum em bancos de dados de preços de ações, especialmente quando coletados através de plataformas como Yahoo Finance. Este enviesamento ocorre quando ações que deixam de ser negociadas ou quebram são excluídas dos dados históricos, podendo levar a uma visão distorcida do desempenho das estratégias de negociação, já que as ações que tiveram um desempenho ruim e quebraram são removidas dos dados. Dito isso, o artigo contorna tal problema e apresenta retornos que de fato seriam obtidos com a aplicação da estratégia no período selecionado.

O trabalho se encontra dividido em 5 seções. Na segunda seção é feita uma revisão da literatura, passando pelos principais trabalhos ao longo das últimas décadas que englobam a evolução de ambos os métodos aqui abordados. Na terceira seção é discutida a metodologia deste trabalho, o qual diz respeito à definição dos períodos de treino e teste, gatilhos de operação, dados e metodologia de formação de pares. Na quarta seção são apresentados os resultados para ambos os métodos, bem como os filtros adicionais previamente mencionados. Por fim, a quinta seção conclui o artigo aqui exposto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 TRADING ALGORÍTMICO

Trading algorítmico consiste na automação de etapas do ciclo de negociação de instrumentos financeiros através do desenvolvimento de programas computacionais e algoritmos (Treleaven *et al.*, 2013). Ao longo das últimas décadas, essa modalidade de investimento cresceu rapidamente devido à sua adoção por parte dos hedge funds, chegando a representar 73% do volume de negociação de ações no mercado americano em 2011 (Treleaven *et al.*, 2013).

Em suma, estes sistemas computacionais visam captar anomalias presentes na precificação dos ativos do mercado e realizar lucros a partir de padrões estatísticos. Esta prática é denominada de arbitragem estatística, onde estratégias de investimento visam explorar mercados financeiros que estão fora de equilíbrio. Apesar de ter se mostrado eficiente, esta abordagem de investimento ainda apresenta diversas vulnerabilidades e incertezas em suas aplicações. Segundo Treleaven *et al.* (2013), isso fica evidente com o chamado *Flash Crash* de 2010, onde erros no comportamento destes algoritmos levaram à uma queda de 9% no índice Dow Jones Industrial Average em questão de minutos, acarretando uma perda de mais de 600 bilhões de dólares em valor de mercado.

2.2 PAIRS TRADING

Dentre as diferentes técnicas de arbitragem estatística no mercado financeiro, o método de Pairs Trading se mostrou extremamente popular e robusto ao longo dos anos. A estratégia foi inicialmente elaborada na década de 1980 e rapidamente apresentou uma adoção por parte dos *hedge funds* e demais agentes do mercado. Entretanto, o avanço de tecnologias que diminuíram as ineficiências presentes no mercado - onde destaca-se o desenvolvimento do computador pessoal e, conseqüentemente, a popularização do uso da técnica entre diferentes agentes econômicos - resultaram na diminuição das oportunidades de arbitragem e seus potenciais ganhos. Ainda assim, tal método se manteve como foco das pesquisas científicas com o passar do tempo, especialmente com o desenvolvimento de novas técnicas de formação de pares. Ademais, a evolução que a

literatura apresentou nos últimos anos deu um caráter universal e polivalente para a técnica, aplicando-a às mais diversas classes de ativos e mercados do mundo.

Dentre suas grandes vantagens, pode-se citar como o método de Pairs Trading permite uma abstração da necessidade de conhecer o valor intrínseco dos ativos, restringindo sua atuação à identificação de ativos super ou subvalorizados em termos relativos frente aos seus pares. A técnica se caracteriza como uma abordagem quantitativa de investimento, onde faz-se uso de um vasto arsenal estatístico e computacional para explorar erros de precificação conjunta de instrumentos financeiros. De acordo com Caldeira e Moura (2013), um dos pilares do Pairs Trading é a característica de reversão à média de seus pares, onde o comportamento passado de seus retornos é utilizado para prever a sua variação futura. Acima de tudo, isso desafia certos fatos estilizados da literatura de teoria das finanças, onde afirma-se que os preços das ações são passeios aleatórios (*random walks*) independentes. Seu embasamento reside na Lei do Preço Único (*Law of One Price*), que postula que dois investimentos com payoffs similares - determinados pelos seus fatores de risco - devem apresentar o mesmo valor presente. Assim, espera-se que haja um equilíbrio estável entre os ativos da operação ao longo do tempo, capaz de corrigir as instabilidades de curto prazo.

Destaca-se, também, o benefício da neutralidade que a estratégia apresenta em relação ao mercado, visto que sua performance reside mais na seleção dos ativos do que na tendência do mercado como um todo. Ehrman (2006) discorre melhor acerca desta proposição. Em suas definições, o autor destaca o fato de a neutralidade de mercado não significar que uma estratégia é livre de risco, mas sim que há possibilidades de ganhos independentemente da direção em que o mercado como um todo está fluando. Dentre as características deste tipo de investimento, algumas são essenciais para o seu funcionamento: a combinação de operações de long (compra) e short (venda) de ativos simultaneamente; a possibilidade de alavancagem financeira; e, por fim, a existência de uma situação de arbitragem.

Dito isso, o autor define formalmente a neutralidade ao mercado como sendo uma estratégia de trade que deriva seu retorno da relação entre a performance de uma operação de compra (long) e a performance de uma operação de venda (short), independente se isto é feito à nível de instrumentos financeiros ou de portfólio. A ideia central é justamente fazer com que a performance do portfólio seja baseada em retornos relativos ao invés de absolutos.

Existem diferentes tipos de neutralidade de mercado, sendo alguns de suma importância no Pairs Trading para a formação de pares com maiores chances de retornos (Ehrman, 2006). Além de algumas categorias mais básicas, como a neutralidade da moeda (em inglês, *dollar neutrality*) - onde se realizam operações de *long* e *short* com o mesmo valor - ou a neutralidade do setor, na qual minimiza-se a exposição à setores diferentes (e que, conseqüentemente, reagem de forma diferente às notícias econômicas comuns), ainda vale citar algumas outras categorias. Primeiramente, destaca-se a neutralidade de beta. Na teoria de finanças, o beta de um ativo (β) indica a volatilidade deste em relação ao mercado. Ativos que possuem um beta igual a 1 variam na mesma proporção que o mercado como um todo, enquanto aqueles com valores acima (abaixo) de 1 são mais (menos) voláteis. Assim, é desejável que a seleção das ações para formação do par balanceie este parâmetro entre as posições *long* e *short* de forma a minimizar a dependência do resultado da operação na tendência do mercado. Já a neutralidade de capitalização de mercado visa parear empresas de tamanhos similares (medido pelo valor total delas). Isto se deve, principalmente, ao fato de empresas de tamanhos diferentes sofrerem impactos distintos em relação às forças do mercado e fatores macroeconômicos no geral. Enquanto empresas maiores se mostram mais estáveis e líquidas no geral, elas

não costumam apresentar retornos tão altos em momentos de forte crescimento do mercado, pelo menos em comparação com as empresas menores e de maior instabilidade.

Acerca de seu funcionamento, basicamente a estratégia de Pairs Trading consiste na exploração das variações de ativos financeiros que se movem conjuntamente e que apresentem um spread com média constante ao longo do tempo. Em suma, quando há uma perturbação do equilíbrio existente, caracterizada por um aumento ou diminuição desta diferença dos retornos (spread) entre os ativos da relação, executa-se movimentos de compra e venda dos mesmos (Elliott, 2005). Através da venda do ativo vencedor do par (aquele que apresenta uma supervalorização relativa), é possível financiar uma posição de compra no ativo perdedor relativamente subvalorizado, evitando a necessidade de desembolso de um caixa inicial. Estas operações são feitas na expectativa de que haja uma reversão à média da anomalia detectada, que resultaria em uma convergência dos preços para o estado original de equilíbrio, permitindo que o investidor realize uma arbitragem e obtenha lucros nas posições de *long* e *short* do par devido a ineficiência do mercado.

Diversos trabalhos na literatura se propuseram a validar se a possibilidade de retornos financeiros a partir da aplicação da técnica se mantinha em diferentes mercados, classes de ativos ou condições. Este interesse reside, principalmente, no fato do método desafiar a forma mais fraca da eficiência do mercado, permitindo ganhos arbitrários a partir de técnicas relativamente simples que visam utilizar comportamentos passados da variação dos ativos como preditores da performance futura dos mesmos. Em seu artigo, Jacobs e Weber (2015) realizam um estudo empírico de larga escala da aplicação de Pairs Trading em 34 países, visando checar se a técnica era capaz de gerar ganhos consistentes sob diferentes cenários, bem como quais os principais determinantes de sua rentabilidade. Dentre suas principais descobertas, destaca-se a persistência de retornos anormais nos diferentes países. Ademais, o nível destes retornos se mostrou maior principalmente em países onde havia um mais elevado grau de ineficiência do mercado - ou seja, países emergentes -, como também naqueles países com mercados relativamente grandes para o seu tamanho, caracterizados por uma grande abundância de informações e de possibilidades de pares.

Essas oportunidades de arbitragem surgem, principalmente, de ineficiências na propagação de novas informações. Ainda no estudo de larga escala de Jacobs e Weber (2015), é feita uma análise compreensiva de quais as principais origens das discrepâncias na variação dos ativos nos pares que geram estas possibilidades de ganhos. Através do uso de dados de variação diária de milhões de pares no mercado americano, identificou-se que a divulgação de notícias de impacto comum nos diferentes ativos (como, por exemplo, notícias macroeconômicas que afetam todo o setor) - e que não sejam acompanhadas por notícias específicas da empresa, como divulgações de dividendos - é um dos principais fatores positivamente correlacionados com o retorno da técnica. Isso é mais evidente em ativos com contrastes na cobertura por parte de analistas e da mídia, dado que estas informações eram mais fácil e rapidamente incorporadas no preço de somente um dos ativos - talvez por uma relação de impacto mais clara -, gerando uma janela de alteração no spread até as notícias se refletirem na outra ponta da operação. Isso condiz com o estudo de Chen *et al.* (2017), onde a possibilidade de ganhos arbitrários pode ser parcialmente atribuída ao *delay* da transmissão das informações - e consequentemente sua incorporação - entre os ativos do par.

A eficácia do método de Pairs Trading reside em duas etapas. A primeira consiste na seleção dos pares, onde é de suma importância assegurar a existência de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre os ativos da operação, visto que isso definirá a possibilidade de reversão à média necessária para encerramento da operação. A segunda

etapa reside na definição dos critérios de abertura e fechamento das negociações, os quais impactam fortemente a duração e a rentabilidade de cada par formado. Dito isso, ao longo da evolução da literatura é evidente que tenham se desenvolvido diferentes técnicas para otimizar ambas etapas do algoritmo. Nesse sentido, Krauss (2016) realiza um levantamento dos artigos científicos do tema, categorizando-os em cinco divisões com base nas metodologias empregadas para definição dos ativos utilizados. Estas são: a abordagem da distância; da cointegração; de séries temporais; de controle estocástico; e outras - as quais englobam aquelas abordagens com uma literatura ainda limitada (machine learning, cópulas etc.). Destas categorias, claramente há um maior destaque e foco na literatura para as técnicas de distância e cointegração.

Os métodos de distância se mostram relativamente simples, onde cabe destacar os trabalhos de Gatev *et al.* (1999, 2006) como pioneiros e principais estudos dessa abordagem na literatura acadêmica, os quais servem até o presente como benchmark de retorno da estratégia. Em seu trabalho, definiu-se a utilização de uma metodologia que consistia na separação da técnica do Pairs Trading em períodos de formação (normalmente 12 meses) e períodos de negociação (*trade*) - com duração de 6 meses. Ao longo do período de formação, primeiramente os autores realizaram uma normalização dos preços das ações. Em seguida, define-se os pares através dos ativos que exibiam a menor soma euclidiana dos quadrados das diferenças destas séries normalizadas. Formados os pares, um sinal de trade era gerado sempre que a diferença entre as séries divergia mais do que dois desvios-padrão de sua média histórica. Apesar de ser uma técnica relativamente simples - onde os pares são formados com base na correlação de seus movimentos de preço -, foi possível obter retornos significativos para ações líquidas do mercado americano.

Os resultados citados acima foram postos em teste em ambos os trabalhos de Do e Faff (2010, 2012). Primeiramente, os autores confirmam que, utilizando a metodologia apresentada em Gatev *et al.* (2006), 32% dos pares definidos não convergem novamente para a média no período de negociações. Isso é resultado de possíveis pares formados por correlações espúrias com o método da distância. Ademais, Do e Faff (2010) estende o período de análise em sete anos, demonstrando como os retornos da técnica de Pairs Trading - se utilizada com a metodologia original - decresceram com o passar do tempo. Além disso, ao incorporar os custos de transações em seu estudo (Do e Faff, 2012), a estratégia deixava de ser rentável, principalmente no período pós 2002.

Assim, os autores buscaram realizar melhorias no método tradicional de seleção de pares proposto por Gatev *et al.* (2006). Primeiro, restringiu-se a amostra para somente àquelas empresas pertencentes às 48 indústrias de Fama-French, visando a criação de pares mais significativos e a redução de correlações espúrias (visto que o pareamento acontecia somente entre ações de um mesmo setor). Em seguida, optou-se por priorizar pares onde havia uma alta frequência de *zero-crossings* do spread ao longo do período de formação, dado seu indicativo de potencial de reversão à média. Estas otimizações permitiram que a abordagem da distância na formação dos pares se mostrasse minimamente rentável até em cenários onde os custos de transação são levados em consideração. Basicamente, o que foi feito em seus trabalhos foi a aplicação de uma heurística onde busca-se pares que, além de apresentarem variações conjuntas, também demonstram características mais fortes de retorno ao estado de equilíbrio de longo prazo.

Essa abordagem, de maior validação da persistência de um estado de equilíbrio, é justamente um dos focos da metodologia de cointegração, onde acrescenta-se um embasamento teórico econométrico ao processo de formação de pares. Inicialmente, o método de cointegração era utilizado na teoria econômica para evitar correlações espúrias

em variáveis macroeconômicas (McDermott, 1990). Entretanto, a técnica se mostrou de suma importância na área de arbitragem estatística nos mercados financeiros.

A cointegração faz uso de séries temporais estocásticas em suas análises. Segundo Vidyamurthy (2004), a série dos preços - a qual é integrada de primeira ordem -, pode ser decomposta em duas partes: um componente não estacionário (denominado de v_t), que inclui tendências, sazonalidades e processos estocásticos; e um segundo componente, normalmente de erro (ε_t) e estacionário. Assim, quando dois ativos são cointegrados, significa que eles compartilham fatores não estacionários (v_t) em comum. Em termos econômicos, estes apresentam uma exposição a fatores de risco similares (riscos setoriais, macroeconômicos etc.), acarretando em uma movimentação conjunta de seus preços.

Caldeira e Moura (2013) realizaram um estudo empírico onde aplicam esta abordagem de cointegração ao mercado acionário brasileiro. Basicamente, sua estratégia consiste em combinar linearmente as séries de preços de forma que seja formada uma série estacionária. Suas regras de sinalização de negociação se baseiam no que os autores definem como z-score, dado pela equação:

$$z_t = (\varepsilon_t - \mu) / \sigma_\varepsilon \quad (1)$$

Onde ε_t é o spread dos ativos, definido pela diferença nos preços dos ativos no período t , ou $P_t^l - \gamma P_t^s$, e γ o coeficiente de cointegração. Como de costume na literatura, caso o z-score ultrapasse dois desvios-padrão de sua média do período de formação (seja para cima ou para baixo), abre-se uma operação de compra e venda dos ativos. Entretanto, o artigo propõe uma abordagem pouco utilizada previamente, de definição de limites de perda (*stop-loss*), onde as posições eram automaticamente encerradas caso atingissem um uma rentabilidade negativa de 7%.

Através da estratégia proposta, seu estudo foi capaz de gerar retornos excessivos de 16,38% por ano em simulações fora da amostra, além de apresentar um Índice de Sharpe de 1,34, baixa exposição ao mercado de ações e uma volatilidade relativamente baixa nos retornos. Adicionalmente, seus resultados mostram que uma abordagem de investimentos utilizando Pairs Trading com base na cointegração se manteve consistentemente lucrativa até mesmo em períodos de crise globais, como no caso na crise financeira de 2008.

Huck (2015) conduz um experimento comparativo da rentabilidade obtida ao aplicar os métodos de distância, cointegração e e outras técnicas de estacionariedade em ações do índice S&P 500. Sua metodologia consiste em testar estas diferentes abordagens em conjunto com variações no período de formação dos pares (1 ou 2 anos). Seus resultados corroboram a teoria acerca da cointegração, onde afirma-se que pares formados com este método mostram com mais frequência um comportamento de regressão à média - e persistência de um estado de equilíbrio - se comparados com aqueles formados pela abordagem da distância. Segundo o autor:

Our results confirm the weak excess returns observed in the recent publications for the minimum distance method. The trades initiated following the stationarity of the price ratio are not able to generate, after transaction costs, large and significant excess returns. The key empirical fact revealed by this study concerns cointegration. After controlling for risk factors, transaction costs and data-snooping biases, cointegration-based pairs trading exhibits high and robust positive alpha. During a period of more than 10 years, even the least profitable parameterization dealing with cointegration delivers excess returns

greater than 1.38% per month. Returns can rise up to 5% per month. Cointegration reduces significantly nonconvergence risk. (Huck 2015, pg. 14)¹

O embasamento teórico econométrico se reflete, também, no fato dos principais ativos com potencial para formação de pares por meio da cointegração tenderem a ser do mesmo setor ou apresentarem uma clara relação econômica, como um produto e seus derivados. Isso é corroborado na literatura, onde estudos com o método da cointegração, como de Girma e Paulson (1999), obtiveram retornos acima de 15% ao ano com a técnica de Pairs Trading em contratos futuros de petróleo e seus derivados. Ademais, cabe citar Simon (1999) para a soja e seus derivados finais e Emery e Liu (2002) entre contratos futuros de gás natural e eletricidade.

Entretanto, a superioridade da cointegração não é unânime na literatura. Como Jacobs e Weber (2015) haviam demonstrado, a rentabilidade da técnica de Pairs Trading é altamente sensível ao período de análise, bem como à diversas outras condições do período de formação dos pares. Dito isso, Rad *et al.* (2016) realiza uma extensa comparação de longo prazo dos retornos apresentados pelos métodos da distância, cointegração e cópulas entre os anos de 1962 e 2014. Ao contrário dos resultados apresentados pelos trabalhos que o precederam (Caldeira; Moura, 2013; Huck, 2015), Rad *et al.* (2016) encontra que a abordagem da distância se sobressai às demais, sendo levemente mais rentável que a abordagem da cointegração. Porém, ambos métodos vêm apresentando um número consideravelmente menor de oportunidades de arbitragem.

Notably, the DM and cointegration method have experienced a 40 and a 35% drop in their average number of trades from the 2007–2011 to the 2012–2014 period respectively, whereas the copula method's average trade count has dropped by 15% in the same period. (Rad *et al.* 2015, pg. 17)²

Adicionalmente, todos os três métodos analisados apresentaram retornos excessivos negativos no período 2012-2014 ao considerar os custos de transação - muito provavelmente resultado da diminuição de operações realizadas. Nesse sentido, Rad *et al.* (2016) argumenta a possibilidade de futuras linhas de pesquisa direcionarem-se para a flexibilização dos critérios de *trigger* das operações. Apesar de um aumento no número de transações provavelmente diminuir o lucro médio, a significativa queda nos custos operacionais nos últimos anos não impactaria a rentabilidade geral da técnica.

3 METODOLOGIA

O trabalho consiste em uma aplicação empírica da técnica de Pairs Trading no mercado acionário americano, visando a validação da possibilidade de obtenção de lucros positivos anormais. Dito isso, a metodologia do trabalho consiste no desenvolvimento de

¹ Em português “Nossos resultados confirmam os retornos excessivos fracos observados nas publicações recentes para o método de mínima distância. As negociações iniciadas seguindo a estacionariedade da proporção de preços não são capazes de gerar, após custos de transação, retornos excessivos significativos e grandes. O fato empírico chave revelado por este estudo diz respeito à cointegração. Após controlar fatores de risco, custos de transação e vieses de "data-snooping", o pairs trading baseado em cointegração apresenta alfa positivo alto e robusto. Durante um período de mais de 10 anos, até mesmo a parametrização menos lucrativa lidando com cointegração gera retornos excessivos maiores que 1,38% por mês. Os retornos podem subir até 5% por mês. A cointegração reduz significativamente o risco de não convergência.”

² Em português: “Notavelmente, o método DM e o método de cointegração experimentaram uma queda de 40% e 35%, respectivamente, em seu número médio de negociações no período de 2007-2011 para o período de 2012-2014, enquanto o número médio de negociações do método de cópula diminuiu em 15% no mesmo período.”

um algoritmo em Python para execução da estratégia, bem como a definição das técnicas estatísticas utilizadas e os parâmetros pré-definidos para funcionamento das operações.

3.1 MÉTODO DA DISTÂNCIA

Para começar, o *benchmark* de performance da estratégia será seu retorno através do método da distância, utilizado pioneiramente por Gatev *et al.* (2006) no processo de formação dos pares. Primeiramente, deve-se normalizar o preço de todas ações disponíveis para formação de pares, atribuindo um índice igual a 1 no começo do período de formação e corrigindo-o conforme os retornos apresentados pelo ativo. Isto é feito para uniformizar as escalas de preços dos ativos, possibilitando a formação de pares entre ações com grandes diferenças absolutas em preços.

Gerado o índice, o método consiste em calcular a distância euclidiana de todos possíveis pares e selecionar os top n mais próximos (ou seja, com a menor diferença entre as duas séries temporais no período). O cálculo da distância é dado por:

$$Distância = \sum_{t=1}^N (P_t^1 - P_t^2)^2 \quad (2)$$

onde N é o número de dias no período de formação de pares (normalmente 12 meses, ou 252 dias).

3.2 MÉTODO DA COINTEGRAÇÃO

Normalmente, as séries de preço de um ativo são consideradas séries integradas de ordem 1 - $I(1)$ -, e portanto não apresentam propriedades estacionárias. A cointegração, apresentada inicialmente por Engle-Granger (1987), consiste justamente na combinação linear de dois ativos $I(1)$ de forma a gerar uma série $I(0)$, a qual apresenta propriedades importantes para o funcionamento da estratégia de Pairs Trading, tais como média e variância constantes ao longo do tempo.

A aplicação da técnica é bem simples. Primeiramente, roda-se uma regressão de um ativo contra o preço do outro, buscando duas informações cruciais: o coeficiente de cointegração entre os ativos, dado pelo coeficiente angular da regressão e comumente chamado de coeficiente gamma (γ); e os resíduos da regressão. Gerados estes dados, os resíduos são usualmente testados através de um teste de raiz unitária, como por exemplo o ADF (*Augmented Dickey-Fuller*), buscando-se rejeitar a hipótese nula de que os resíduos possuem raiz unitária.

Nesta etapa, busca-se os pares com menor *p-valor* no teste ADF, pois são os com maior confiança na rejeição da existência da raiz unitária, sendo assim cointegrados e com uma série de *spread* estacionária. Para execução da estratégia são selecionados os top n pares com menor *p-valor*.

3.3 DADOS

Os dados utilizados foram os das séries diárias de preço das ações das empresas que integram o índice S&P 500 entre o período que engloba o segundo semestre de 1990 e o final de 2015. A coleta dos dados foi feita através do terminal Bloomberg, enquanto o tratamento se dá por meio da linguagem de programação Python.

Importante mencionar que a coleta dos dados foi feita de forma a contornar o viés de sobrevivência das ações que compuseram o índice ao longo dos anos. O viés diz respeito à desconsideração de ações de empresas que deixaram de ser listadas ao longo dos anos, seja por motivos de falência, aquisição da empresa ou fechamento de capital.

Ao ocorrer isso, seus históricos de preços são removidos das bases de dados, afetando estudos futuros dada a ocorrência de uma seleção prévia de ações que possivelmente apresentaram uma performance melhor no período. Tal problema não afetará os resultados aqui expostos.

Para os cálculos dos retornos anormais, foi utilizado o título de 3 meses do tesouro americano como ativo livre de risco. A coleta foi feita através da plataforma Yahoo Finance, com o *ticker* **^IRX**.

3.4 O ALGORITMO

Como de praxe na literatura de Pairs Trading (Huck 2015; Caldeira; Moura 2013; Do; Faff 2010, 2012) definiu-se a divisão da técnica em duas etapas: treino e teste (ou formação e negociação). No período de formação, será feita uma análise extensiva dos dados em busca de pares tanto pela abordagem da distância como pela abordagem da cointegração. A extensão do período de formação será de 1 ano, o qual irá avançar progressivamente até o final da amostra coletada.

Definidos os pares, é realizado um período de negociação de 6 meses, que igualmente avança até o final da amostra. Ao longo desta etapa, uma operação é iniciada sempre que o spread entre os ativos divergir mais que 1,5 desvios-padrões de sua média do período de formação. Tal valor foi utilizado por Caldeira e Moura (2013) em sua aplicação da cointegração, e aqui será também utilizado no método da distância para efeitos de comparação de resultados. Outros valores de gatilhos serão posteriormente testados.

Cabe destacar que não necessariamente todos os pares são utilizados no período de teste. Estudos onde aplicou-se a técnica para o mercado americano (Huck, 2015), onde há uma ampla possibilidade de pares, frequentemente limitam suas negociações *out-of-sample* para os top 5 ou top 20 pares (ranqueados com base no critério de formação de pares). Neste artigo foram utilizados somente os top 20 pares, ordenados com base nos critérios pré-definidos para cada método de formação.

Para o encerramento das operações, são utilizados critérios já comuns na literatura. Para o caso da cointegração, a principal referência é Caldeira e Moura (2013), onde as posições são revertidas no momento em que o desvio-padrão do spread, dado pelo z-score, retorna a valores abaixo de 0,5 ou 0,75 desvios-padrão, dependendo da posição aberta. No trabalho aqui exposto foi adotado o *threshold* de 0,75 desvios-padrão para encerramento da operação em ambas as abordagens, especialmente para efeito de comparação entre os resultados obtidos.

Assim sendo, as operações se limitam somente a abertura ou liquidação completa de uma posição nos pares, e seus gatilhos podem ser definidos como:

Abertura posição de compra se $z_t < -1,50$

Abertura posição de venda se $z_t > 1,50$

Encerramento posição de compra se $z_t > -0,75$

Encerramento posição de venda se $z_t < 0,75$

onde uma posição de compra é definida como a compra de um par subvalorizado, realizando uma operação de *long* na ação *l* (de maior preço relativo) e *short* na ação *s* (de menor preço relativo). Inversamente, uma operação de venda do portfólio supervalorizado significa abrir uma posição de *short* na ação *l* do par e *long* na ação *s*, dada a expectativa de diminuição do spread entre os ativos.

Diferente de certos trabalhos da literatura de Pairs Trading (Chan, 2009; Dunis *et al.*, 2010), a formação de pares não foi limitada para somente empresas do mesmo setor, dada a arbitrariedade de tal definição e a possibilidade de perda de certos pares de setores relacionados. Ademais, algumas regras adicionais de limitações das operações foram testadas no algoritmo desenvolvido, como o caso do *stop loss* para prevenção de perdas e a limitação do número de dias máximos em uma operação, como utilizado em Caldeira e Moura (2013), onde encerrava-se uma operação assim que esta se estendia por mais de 50 dias.

4 RESULTADOS

Na Tabela 1 é possível observar as principais métricas operacionais de cada uma das abordagens utilizadas. Ao longo do período de 25 anos definidos neste estudo, a técnica de Pairs Trading apresentou retornos positivos em ambas as abordagens de formação de pares - distância e cointegração.

Tabela 1 - Métricas Operacionais dos Métodos da Distância e Cointegração

	Distância	Cointegração	S&P500
Pares Operados	640	973	-
Retorno Médio por Par	1,62%	10,96%	-
Trades	2.745	2541	-
Trades por Par	4,29	2,61	-
Trades Positivos	2.188	2133	-
% Trades Positivos	79,71%	83,94%	-
Trades Negativos	557	328	-
% Trades Negativos	20,29%	12,91%	-
Maior Retorno	24,45%	47,31%	-
Menor Retorno	-63,41%	-30,93%	-
Retorno Médio por Trade	0,38%	4,19%	-
% Convergência	75,59%	81,07%	-
Tempo Médio de Trade (dias)	28,21	11,78	-
Retorno Anual	2,16%	12,68%	6,92%
Retorno Anormal Anualizado	1,42%	11,86%	5,97%

Fonte: Elaboração própria

Primeiramente, destaca-se que ambos os métodos obtiveram uma performance melhor que a renda fixa, resultando em retornos anormais positivos. Entretanto, o método da distância não foi capaz de superar um investimento passivo no índice do S&P500, obtendo uma rentabilidade anormal anualizada de 1,42%, contra 5,97% do mercado.

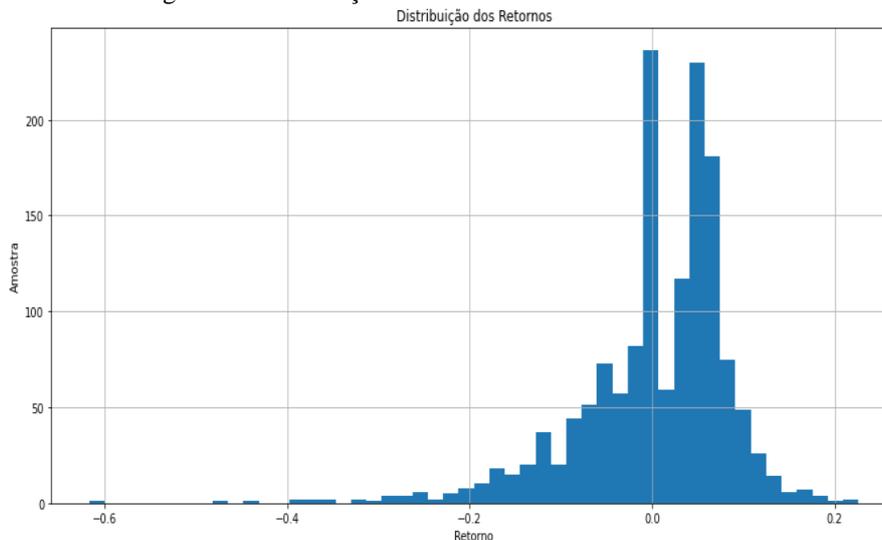
Ademais, o estudo vai de encontro com achados da literatura, onde o método da cointegração se mostra superior ao método da distância em múltiplos critérios, tais como retorno acumulado, convergência dos pares e proporção de operações positivas. Tal fato pode ser explicado justamente por essa técnica gerar pares com características mais fortes de reversão à média, deixando de lado possíveis correlações espúrias entre ativos - e consequentemente, pares espúrios.

4.1 MÉTODO DA DISTÂNCIA

Primeiramente, o método da distância apresentou um retorno médio de 1,62% por par, tendo operado 640 pares ao longo do período e realizado 2.745 operações de compra

ou venda. Destas, 79,71% apresentaram retornos positivos, e 75,59% convergiram para o gatilho de encerramento da operação.

Figura 1 - Distribuição dos Retornos Método da Distância



Fonte: Elaboração própria

Tabela 2 - Participação de Ações nos Pares com Método da Distância

Ticker	Empresa	Setor	Nº de Pares
XEL	Xcel Energy	Energia	37
0961514D	Progress Energy Inc	Energia	29
ED	Consolidated Edison	Energia	27
D	Dominion Energy	Energia	26
SO	The Southern Company	Energia	25
NEE	NextEra Energy	Energia	23
CEG	Constellation Energy	Energia	23
9876566D	Chubb Corp	Seguros	23
AEE	Ameren Corp	Energia	22
AEP	American Electric Power	Energia	18
EIX	Edison International	Holding (Energia)	17
WFC	Wells Fargo	Serviços Financeiros	15
0111145D	Nicor Inc	Bens de Consumo	14
PCG	Pacific Gas and Electric	Energia	14
DUK	Duke Energy	Energia	13
TXU	Energy Future	Holding (Energia)	13
TMK	TMK Energy	Energia	12
PNW	Pinnacle West Capital	Holding (Energia)	12
KMB	Kimberly-Clark	Bens de Consumo	12
CNP	CenterPoint Energy	Energia	12

Fonte: Elaboração própria

A Figura 1 nos mostra a distribuição dos retornos da abordagem. Mesmo com o retorno médio positivo, é possível ver claramente a existência de um maior peso na cauda inferior. Assim, é razoável assumir que o uso de um mecanismo de *stop loss* poderia melhorar ainda mais a performance geral da carteira e, portanto, tal filtro foi aplicado conforme seção 4.3.

Acerca das ações selecionadas para execução da estratégia, é possível ver na Tabela 2 quais os principais ativos operados ao longo dos 49 semestres de teste, bem como seu respectivo setor. Como é possível ver, mesmo sem uma limitação de formação de pares somente entre empresas do mesmo setor, através do método da distância se obteve uma forte concentração em ações de energia, bem como algumas do setor financeiro e de bens de consumo (materiais de higiene pessoal, materiais para casa etc.).

Por fim, temos um comparativo dos retornos da abordagem da distância nas duas possíveis formas de alocação do capital entre os pares: *committed capital* e *fully invested*. Na primeira opção, todos os pares recebem uma proporção igual do capital no início do período de trading e, caso não haja nenhuma operação para o par, o dinheiro fica parado (ou seja, o capital fica comprometido) ou investido em uma renda fixa.

Já no *fully invested*, os pesos de cada par são recalculados ao ocorrer a abertura de um novo trade, e 100% do montante disponível se encontra investido ao longo da janela. Tal recálculo dos pesos seria feita através da tomada de empréstimos para rebalanceamento da carteira, visto que uma posição já comprada não será vendida para realocação dos recursos. A Tabela 3 nos mostra as principais métricas de retorno para cada uma das abordagens.

Tabela 3 - Comparativo *Committed Capital* e *Fully Invested*

	Committed Capital	Fully Invested
Retorno Semestral Médio	1,17%	2,12%
Retorno Acumulado	70,52%	150,13%
Maior Retorno	8,98%	26,30%
Menor Retorno	-14,31%	-17,27%
Semestres Positivos	34	31
Semestres Negativos	15	18

Fonte: Elaboração própria

Como é possível ver, a abordagem *Fully Invested* apresenta um retorno cumulativo muito maior ao longo do período. Tal resultado é intuitivo pois esta estratégia evita que parte do capital disponível da carteira fique "ocioso", recalculando constantemente os pesos dos pares e consequentemente potencializando seus retornos.

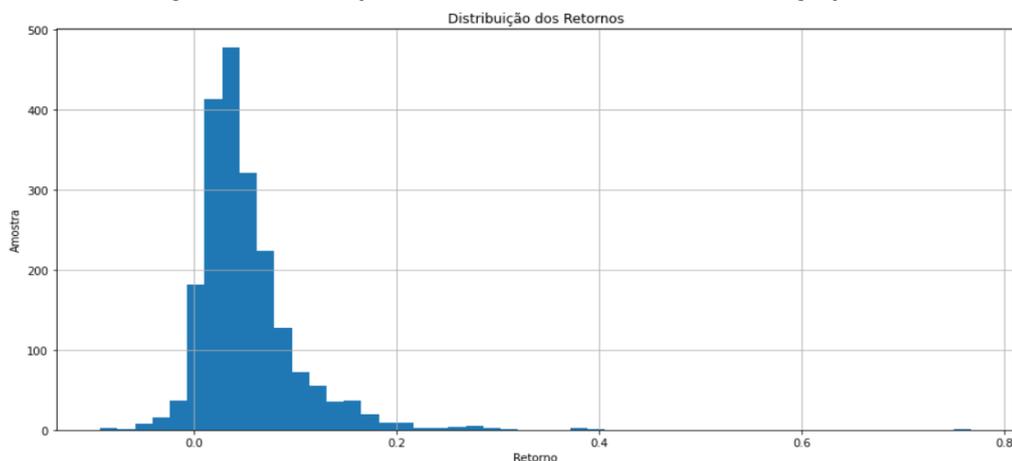
4.2 MÉTODO DA COINTEGRAÇÃO

O método da cointegração apresenta uma melhora significativa na performance da estratégia quando comparado com o método de seleção por distância euclidiana. Para começar, a abordagem apresentou um retorno médio por par de 10,96%, tendo operado 973 pares no período. Com uma média de 2,61 operações por par, a carteira de Pairs

Trading obteve um resultado médio de 4,19% por operação, sendo 83,94% destas positivas.

Diferente do método da distância, a distribuição dos retornos para a cointegração se mostrou com maior peso na cauda superior, como mostra a figura 2. Pode-se argumentar que tal acontecimento ocorre devido ao uso de um método de seleção mais robusto, onde se elimina a chance de abrir operações em pares com correlações espúrias.

Figura 2 - Distribuição dos retornos com o método da cointegração



Fonte: Elaboração própria

Por fim, a Tabela 4 nos mostra a relação das principais ações que participaram dos pares operados ao longo do período. Diferentemente do método da distância, com a técnica da cointegração a formação de pares explorou relações mais multissetoriais, sem nenhum grande padrão se destacando na seleção dos ativos do portfólio.

Tal acontecimento pode ser justificado pela cointegração apresentar um melhor uso das informações econômicas contidas no preço das ações, como argumentado por Caldeira e Moura (2013). Ao considerarmos dois ativos cointegrados, estes tendem a apresentar uma exposição similar aos mesmos fatores de risco, o que pode explicar a aparição de diversos setores correlatos nos pares.

4.3 FILTROS ADICIONAIS

Visando melhorar a performance da estratégia de Pairs Trading, o artigo se propõe também a explorar variações em parâmetros que afetam diretamente o retorno do portfólio, tal como os gatilhos de entrada e saída de um par, a duração máxima de uma operação e o limite de perdas (*stop loss*). Abaixo temos os principais resultados encontrados para os valores testados em cada cenário.

Tabela 4 - Participação de Ações nos Pares com Método da Cointegração

Ticker	Empresa	Setor	Nº de Pares
WM	Waste Management Inc.	Gestão de Resíduos	22
291784Q	-	-	20
SPGI	S&P Global Ratings	Classificação de Risco/ Consultoria	19
USB	US Bancorp	Holding Bancária	17
CA	Carrefour	Supermercados	16

TLAB	Tellabs	Serviços de Rede	14
SWK	Stanley Black & Decker	Ferramentas	14
OMC	Omnicom	Publicidade	12
BK	Bank of New York Mellon	Serviços Financeiros	12
TOY	Spin Master	Brinquedos	12
STZ	Constellation Brands	Bebidas Alcoólicas	11
PAS	Pascal Bioscience	Biotecnologia	11
C	Citigroup	Serviços Financeiros	11
9876544D	International Game Technology	Jogos/Entretenimento	11
MMM	3M	Indústrias Diversas	10
1284849D	Allergan	Farmacêutica	10
PBI	Pitney Bowes Inc	Tecnologia	10
DCNAQ	Dana Corporation	Manufatura	9
HAS	Hasbro	Brinquedos	9
EMR	Emerson Electric	Energia	9

Fonte: Elaboração própria

4.3.1 Stop Loss

A Tabela 5 nos mostra como foi o impacto do uso de diferentes valores de *Stop Loss* (5, 7 e 10%) em ambos os métodos aqui utilizados, distância e cointegração. Dentre os resultados, o principal a se analisar são as mudanças no retorno anormal anualizado, o qual mostra claramente que o uso de um limitador de perdas possui um efeito ambíguo na estratégia de Pairs Trading, dependendo fortemente de qual método de seleção de pares está sendo empregado.

Tabela 5 - Resultados Operacionais por *Stop Loss*

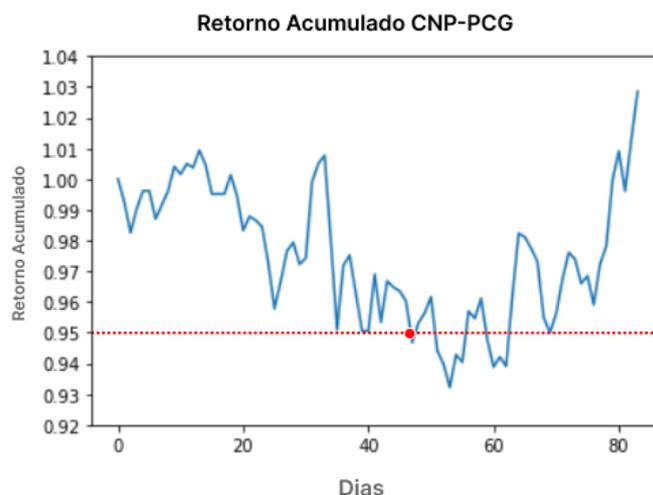
Stop Loss	Distância (Committed Capital)			Cointegração		
	5%	7%	10%	5%	7%	10%
Pares Operados	640	640	640	973	973	973
Retorno Médio por Par	4,35%	3,71%	3,09%	10,55%	10,73%	11,05%
Trades	3.886	3462	3171	2896	2733	2624
Trades por Par	6,07	5,41	4,95	2,98	2,81	2,70
Trades Positivos	2.462	2403	2344	2158	2151	2146
% Trades Positivos	63,36%	69,41%	73,92%	74,52%	78,70%	81,78%
Trades Negativos	1424	1058	826	640	492	394
% Trades Negativos	36,64%	30,56%	26,05%	22,10%	18,00%	15,02%
Maior Retorno	69,67%	69,67%	69,67%	52,18%	47,31%	52,75%
Menor Retorno	-5,00%	-7,00%	-10,00%	-5,00%	-7,00%	-10,00%
Retorno Médio por Trade	0,72%	0,69%	0,62%	3,55%	3,82%	4,10%
% Convergência	83,02%	80,79%	79,06%	83,94%	82,62%	81,82%
Tempo Médio de Trade (dias)	19,92	22,37	24,41	10,14	10,84	11,36
Retorno Anual	1,71%	2,21%	2,76%	11,91%	12,23%	12,58%
Retorno Anormal Anualizado	0,97%	1,47%	2,02%	11,10%	11,42%	11,76%

Fonte: Elaboração própria

Como pode ser visto, o método da distância se beneficiou do uso do *stop loss*, porém somente a partir do segundo limite testado - de 7% -, apresentando uma melhora mais significativa com um *stop* de 10%. Isso pode ser explicado, principalmente, pela existência de uma cauda inferior mais pesada nessa abordagem, resultado da relativa fraqueza do método da distância em encontrar pares que possuem, de fato, um equilíbrio duradouro de longo prazo. Assim, pode-se argumentar que uma vez que um par atinja um retorno negativo considerável, este provavelmente só irá piorar dada a relação espúria entre os ativos e a inexistência de propriedades de reversão à média.

Já a cointegração não apresentou melhorias com o uso de um limitador de perdas. A explicação para isso é que, diferente do método da distância, a técnica de cointegração de fato encontra pares de ativos com uma relação de equilíbrio de longo prazo. Assim, mesmo que tais pares apresentem retornos negativos no período inicial da operação, estes tendem a mudar esta tendência de ampliação do *spread*, conseqüentemente diminuindo o prejuízo obtido ou até mesmo revertendo para um lucro no portfólio. Entretanto, com o uso do *stop loss* - principalmente com limites baixos -, as operações são encerradas precocemente, implicando em uma frequência maior de retornos negativos.

Figura 3 – Evolução do Retorno Acumulado do Par CNP-PCG



Fonte: Elaboração própria

Tal comportamento é ilustrado na Figura 3, onde temos a evolução do retorno acumulado do par CNP-PCG para uma operação realizada no primeiro período de teste do método da distância. Como é possível ver, o par inicia a operação incorrendo perdas consideráveis, até o ponto em que no 48º dia atinge o *stop loss* de 5% e a operação é encerrada. Entretanto, tal movimento é muito abrupto, uma vez que a negociação evoluiria para um lucro de quase 3% ao final do 87º dia.

Assim, fica claro o comportamento não linear das operações realizadas. Portanto, pode-se argumentar que para otimizar a técnica de Pairs Trading, é preferível o uso de métodos de formação de pares mais robustos – com propriedades mais fortes de reversão a média – do que o uso de um limitador de perda.

4.3.2 Gatilhos

A seguir temos o comportamento da estratégia em diferentes *thresholds* de entrada e saída de um par, os quais foram definidos com base na quantidade de desvios-padrão

do spread entre os ativos, sendo o gatilho de entrada sempre o dobro do gatilho de saída e o valor padrão $1,5\sigma$ para abertura e $0,75\sigma$ para encerramento. Como é possível ver, novamente os métodos empregados apresentaram resultados distintos em seu comportamento.

Começando pelo método da distância, claramente não há uma variação linear no resultado com base no aumento ou diminuição dos gatilhos, com o valor ótimo sendo justamente o padrão previamente utilizado. O que se pode argumentar é que, valores baixos de entrada ou saída da operação resultam, justamente, em operações com menor retorno médio, possivelmente pelo algoritmo se precipitar no que diz respeito à detecção de uma anomalia no comportamento do *spread*. Já no caso de gatilhos maiores, como 2 desvios-padrão para entrada, possivelmente o par já seja um forte candidato a ser uma correlação espúria, e por isso a menor convergência nas operações.

Tabela 6 - Resultados Operacionais por Gatilhos de Operação

Gatilhos	Distância (Committed Capital)			Cointegração		
	0,5 σ 1 σ	0,75 σ 1,5 σ	1 σ 2 σ	0,5 σ 1 σ	0,75 σ 1,5 σ	1 σ 2 σ
Pares Operados	642	640	635	1013	973	766
Retorno Médio por Par	1,32%	1,62%	1,48%	11,57%	10,96%	7,91%
Trades	3.429	2.745	2157	4242	2541	1071
Trades por Par	5,34	4,29	3,40	4,19	2,61	1,40
Trades Positivos	2.808	2.188	1647	3306	2133	913
% Trades Positivos	81,89%	79,71%	76,36%	77,93%	83,94%	85,25%
Trades Negativos	621	557	510	735	328	112
% Trades Negativos	18,11%	20,29%	23,64%	17,33%	12,91%	10,46%
Maior Retorno	24,45%	24,45%	22,59%	59,44%	47,31%	55,00%
Menor Retorno	-62,63%	-63,41%	-61,63%	-35,76%	-30,93%	-20,50%
Retorno Médio por Trade	0,25%	0,38%	0,43%	2,76%	4,19%	5,66%
% Convergência	78,71%	75,59%	71,26%	84,37%	81,07%	77,40%
Tempo Médio de Trade (dias)	25,75	28,21	30,84	14,25	11,78	8,72
Retorno Anual	1,76%	2,16%	1,93%	14,05%	12,68%	10,79%
Retorno Anormal Anualizado	1,02%	1,42%	1,19%	13,22%	11,86%	9,99%

Fonte: Elaboração própria

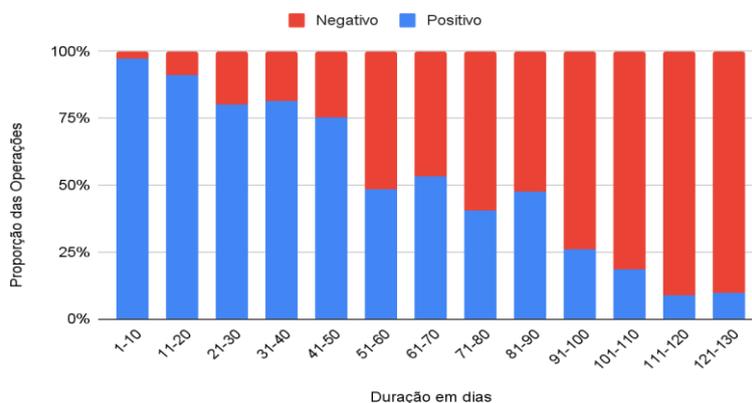
Por outro lado, o método da cointegração possui um comportamento bem definido no que diz respeito a variação dos gatilhos de operações. Como demonstra a Tabela 6, valores cada vez menores nos *thresholds* impactaram positivamente a performance da estratégia. Apesar da piora em indicadores como a porcentagem de negociações positivas e o menor retorno obtido, tal movimento é compensado pelo incremento significativo no número de operações por par e sua convergência, consequentemente resultando em uma performance acumulada melhor.

4.3.3 Duração

Um dos fatores diretamente relacionado com a rentabilidade de uma operação de Pairs Trading é justamente a duração da mesma. Para analisar isso, a Figura 4 mostra para o método da distância a proporção de operações positivas e negativas com base no período em dias em que a operação se enquadra.

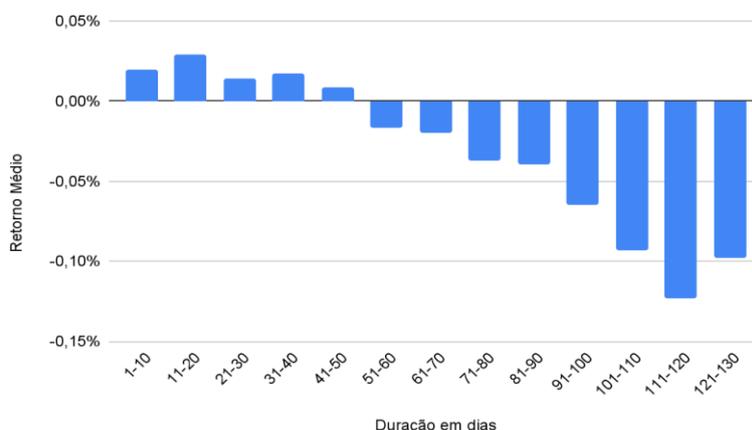
Como é possível ver, há um forte decaimento na proporção de retornos positivos conforme o avanço da duração da operação, sendo o impacto mais visível no momento em que a mesma atinge a marca de 50 dias. Neste ponto, a Figura 5 nos mostra para o método da distância que o portfólio passa a ter um retorno médio negativo por trade, chegando ao ponto onde cada operação perde, em média, 10% do valor investido.

Figura 4 - Trades Positivos e Negativos por Duração em Dias



Fonte: Elaboração própria

Figura 5 - Retorno Médio por Operação Agrupado por Duração



Fonte: Elaboração própria

Assim, se testou a performance da estratégia com um limitador de duração, onde a mesma é encerrada uma vez que se atinge o 50º dia após abertura do par. Importante destacar, entretanto, que tal abordagem foi aplicada somente no método da distância, visto que o trade mais longo para a cointegração foi de somente 46 dias.

A Tabela 7 traz os resultados obtidos com o uso do limite de duração das operações. Como é possível ver, o impacto foi baixo no que diz respeito à performance da estratégia, incrementando marginalmente o retorno anormal obtido por ano e sem

apresentar melhores resultados em termos de convergência das operações ou proporção de negociações positivas.

Tabela 7 - Resultados Operacionais com Limite de Duração

	C/ Limite	S/ Limite
Pares Operados	640	640
Retorno Médio por Par	1,74%	1,62%
Trades	2.745	2.745
Trades por Par	4,29	4,29
Trades Positivos	2.088	2.188
% Trades Positivos	76,07%	79,71%
Trades Negativos	657	557
% Trades Negativos	23,93%	20,29%
Maior Retorno	24,45%	24,45%
Menor Retorno	-53,96%	-63,41%
Retorno Médio por Trade	0,41%	0,38%
% Convergência	70,60%	75,59%
Tempo Médio de Trade (dias)	20,29	28,21
Retorno Anual	2,27%	2,16%
Retorno Anormal Anualizado	1,53%	1,42%

Fonte: Elaboração própria

Tal fato pode ser explicado, possivelmente, pela distribuição das operações ao longo dos períodos pré-definidos, onde mais de 80% delas ocorrem dentro do intervalo de até 50 dias de abertura. Assim, apesar de limitar as operações com retornos negativos, estas apresentam um baixo impacto no retorno obtido no portfólio como um todo. Ademais, a deterioração das operações é mais significativa a partir do 90º dia, entretanto somente 10% das negociações chegam nesse marco.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a testar a lucratividade da técnica de Pairs Trading no mercado americano ao longo de um período marcado por fortes crises financeiras, visando validar a possibilidade de explorar anomalias nos movimentos de preços e consequentemente testar a hipótese do mercado eficiente. Como pode ser visto, ambas abordagens aqui testadas, da distância e cointegração, apresentaram resultados anormais positivos, obtendo retornos de 1,42% e 11,86% por ano, respectivamente. Entretanto, somente o método da cointegração obteve retornos acima do investimento no índice do S&P500.

A diferença significativa entre os resultados apresentados pode ser atribuída, possivelmente, a maior robustez da técnica da cointegração em termos de gerar pares com propriedades cruciais a performance da estratégia de Pairs Trading. Tais características estacionárias, de média e variância constantes ao longo do tempo, são necessárias para a obtenção de movimentos de reversão à média do spread dos pares, onde a maior parte do lucro do trade é feito. Ademais, o trabalho aqui realizado pode ser expandido através da procura e aplicação de novas técnicas estatísticas capazes de encontrar pares com equilíbrios de longo prazo. Dentre tais ferramentas, uma de grande interesse seria o Exponente de Hurst, introduzido na literatura por Ramos-Requena *et al.* (2017) e com resultados positivos significativos. Adicionalmente, técnicas de *machine learning* vem se mostrando eficazes na filtragem de pares cada vez mais robustos.

Por fim, o trabalho buscou explorar diferentes cenários capazes de potencializar os lucros da carteira. Para isso, variações no algoritmo foram feitas em busca de limitar as perdas incorridas em cenários negativos, tais como o uso do *stop loss* e um limite de duração da operação em dias. Ao contrário do esperado, seu impacto não foi positivo em todos os cenários, contrastando fortemente entre os métodos empregados. Para a técnica da distância, de fato limitadores de perda melhoraram a performance do portfólio, sem grandes impactos com as variações nos gatilhos ou com o limite de duração. Para a cointegração, por outro lado, o impacto mais significativo foi o da redução dos *thresholds* de entrada e saída, possibilitando ainda mais operações ao longo do período. Claramente estes resultados são altamente dependentes da amostra utilizada, mas ainda podem servir como base para futuros estudos na definição de regras adicionais para a estratégia.

6 REFERÊNCIAS

ALEXANDER, C.; GIBLIN, I.; WEDDINGTON, W. Cointegration and asset allocation: a new active hedge fund strategy. **Research in International Business and Finance**, v. 16, n. 5, p. 65 – 90, 2002.

CALDEIRA, J. F.; MOURA, G. V. Selection of a Portfolio of Pairs Based on Cointegration. **Brazilian Review of Finance**, v. 11, n. 1, p. 49 – 80, 2013.

CHEN, H. *et al.* Empirical Investigation of an Equity Pairs Trading Strategy. **Management Science**, set. 2017.

DO, B.; FAFF, R. Does Simple Pairs Trading Still Work? **Financial Analysts Journal**, v. 66, n. 4, p. 83 – 95, 07 2010.

DO, B.; FAFF, R. Are Pairs Trading Profits Robust to Trading Costs? **The Journal of Financial Research**, v. 35, n. 2, p. 261 – 287, 7 2012.

EHRMAN, D. S. **The Handbook of Pairs Trading**: Strategies Using Equities, Options, & Futures. [S.l.]: Wiley, 2006.

ELLIOTT, R. J.; HOEK, J. V. D.; MALCOLM, W. P. Pairs trading. **Quantitative Finance**, v. 05, n. 3, p. 271 – 276, abr. 2005.

EMERY, G. W.; LIU, Q. W. An analysis of the relationship between electricity and natural-gas futures prices. **Journal of Futures Markets**, v. 22, n. 2, p. 95 – 122, 2002.

GATEV, E.; GOETZMANN, W.; ROUWENHORST, K. G. Pairs Trading: Performance of a Relative-Value Arbitrage Rule. **The Review of Financial Studies**, v. 19, n. 3, p. 797 – 827, 2006.

GIRMA, P. B.; PAULSON, A. S. Risk arbitrage opportunities in petroleum futures spreads. **Journal of Futures Markets**, v. 19, n. 8, p. 931 – 955, 1999.

HUCK, N. Pairs trading and selection methods: is cointegration superior? **Applied Economics**, v. 47, n. 6, p. 599 – 613, 2015.

JACOBS, H.; WEBER, M. On the determinants of pairs trading profitability. **Journal of Financial Markets**, v. 23, p. 75 – 97, 03 2015.

KRAUSS, C. Statistical Arbitrage Pairs Trading Strategies: Review And Outlook. **Journal of Economic Surveys**, v. 31, n. 2, p. 513 – 545, 05 2016.

MCDERMOTT, C. J. Cointegration: Origins and significance for economists. **New Zealand Economic Papers**, v. 24, n. 1, p. 1 – 23, 1990.

RAD, H.; LOW, R. K. Y.; FAFF, R. The profitability of pairs trading strategies: distance, cointegration and copula methods. **Quantitative Finance**, v. 16, n. 10, 04 2016.

RAMOS-REQUENA, J.; TRINIDAD-SEGOVIA, J.; SÁNCHEZ-GRANERO, M. Introducing Hurst exponent in pair trading. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 488, p. 39 – 45, dez. 2017.

SIMON, D. P. The soybean crush spread: Empirical evidence and trading strategies. **Journal of Futures Markets**, v. 19, n. 3, p. 271 – 289, 1999.

TRELEAVEN, P.; GALAS, M.; LALCHAND, V. Algorithmic Trading Review. **Communications of the ACM**, v. 56, n. 11, p. 76 – 85, 11 2013.

VIDYAMURTHY, G. **Pairs Trading: Quantitative Methods and Analysis**. [S.l.]: Wiley Finance, 2004.