

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV-RJ)
ESCOLA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA (EPGE)

MESTRADO PROFISSIONAL EM
FINANÇAS E ECONOMIA EMPRESARIAL (MFEE)

ANÁLISE DO EFEITO DE CRISES SOBRE ESTRATÉGIAS DE *PAIRS TRADING*
NO BRASIL.

Professor Orientador

Marcelo de Sales Pessoa

Adriano Gonçalves de Oliveira

Rio de Janeiro, 11 de agosto de 2017

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV-RJ)

ADRIANO GONÇALVES DE OLIVEIRA

145204001

ANÁLISE DO EFEITO DE CRISES SOBRE ESTRATÉGIAS DE *PAIRS TRADING* NO
BRASIL.

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em
Finanças e Economia Empresarial da Fundação
Getúlio Vargas como pré-requisito para obtenção do
título de Mestre em Finanças e Economia
Empresarial.

Orientador: Marcelo de Sales Pessoa

Rio de Janeiro/RJ

2017

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mario Henrique Simonsen/FGV

Oliveira, Adriano Gonçalves de

Análise do efeito de crises sobre estratégias de *pairs trading* no Brasil / Adriano Gonçalves de Oliveira. – 2017.

37 f.

Dissertação (mestrado) - Fundação Getulio Vargas, Escola de Pós-Graduação em Economia.

Orientador: Marcelo de Sales Pessoa.

Inclui bibliografia.

1. Operações com pares (Finanças). 2. Cointegração. 3. Ações (Finanças.)
I. Pessoa, Marcelo de Sales, 1983- . II. Fundação Getulio Vargas. Escola de Pós-Graduação em Economia. III. Título.

CDD – 332.645



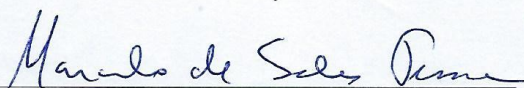
ADRIANO GONÇALVES DE OLIVEIRA

**“ANÁLISE DO EFEITO DE CRISES SOBRE ESTRATÉGIAS DE
PAIR TRADING NO BRASIL”**

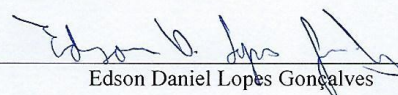
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Economia Empresarial e Finanças da Escola de Pós-Graduação em Economia para obtenção do grau de Mestre em Economia Empresarial e Finanças.

Data da defesa: 31/08/2017

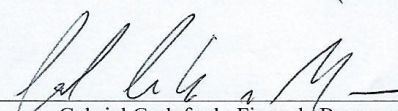
ASSINATURA DOS MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA



Marcelo de Sales Pessoa
Orientador (a)



Edson Daniel Lopes Gonçalves



Gabriel Godofredo Fiuza de Bragança

Dedico este trabalho, à minha esposa,
Juliana, meu filho Guilherme, e aos meus
pais e sogros.

RESUMO

A proposta deste trabalho é verificar a performance do método de distância da estratégia de *pairs trading* no mercado brasileiro. O estudo ocorre no período entre 2004 e 2017, tentando identificar se essas estratégias trouxeram retornos consistentes apesar das diversas crises econômicas e políticas brasileiras. Diversamente da vasta literatura que busca modelos mais complexos que possam atuar nas estratégias de *pairs trading*, este estudo se concentrará apenas no método de distância, sem a incidência de custos de transação, nesse horizonte mais recente ainda não estudado. Por ser relativamente mais simples, esse método tem maior atratividade prática. Faz-se necessário, então, entender seu comportamento nas crises. A metodologia utilizada foi extraída dos artigos de Gatev et al (2006) e Rad, Low e Faff (2012) com apenas uma modificação no critério de encerramento das posições. Como resultado, a estratégia estudada não apresentou perdas estatisticamente significantes em períodos de crise.

Palavras-chave: *pairs trading*, método de distância, crise brasileira, estratégia quantitativa, arbitragem estatística.

ABSTRACT

The purpose of this work is to check the performance of the distance method of the pairs trading strategy in the Brazilian market. The study takes place in the period between 2004 and 2017, trying to identify if these strategies brought consistent returns despite several economic and political crises. Unlike the vast literature that seeks more complex models that can act in pairs trading strategies, this study will focus only on the method of distance, without the incidence of transaction costs, in this most recent horizon not yet studied. For being relatively simpler, this method has a higher attractiveness practice. Therefore, it is necessary to understand your behavior in a crisis. The methodology used was extracted from Gatev et al. (2006) and Rad, Low and Faff (2012) articles with only a change in the criteria for closure of positions. As a result, the studied strategy did not present statistically significant losses in times of crisis.

Keywords: *pair-trading, method of distance, Brazilian crisis, quantitative strategy, statistical arbitrage*

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABELAS	10
LISTA DE SIGLAS	11
1 - INTRODUÇÃO:.....	12
2 - REVISÃO DA LITERATURA:.....	14
3 - METODOLOGIA:	18
3.1 - DADOS UTILIZADOS:.....	18
3.2 – ESCOLHA DOS PERÍODOS: CRISES.....	19
3.3 – MÉTODO DA DISTÂNCIA.....	20
4 – RESULTADOS	23
4.1 – RESULTADOS NAS CRISES	29
4.2 - RESULTADO DO TESTE-T.....	32
5 – CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	34
APÊNDICE – OUTRAS METODOLOGIAS.....	36
MÉTODO DE COINTEGRAÇÃO.....	36
MÉTODO DE COPULA	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico Ibovespa com destaque nas principais crises.....	19
Figura 2 - Racional da Metodologia de Distância.....	22
Figura 3 - Exemplo gráfico quando não há abertura de operação.....	23
Figura 4 - Exemplo gráfico de três operações durante o período de trading.....	24
Figura 5 - Exemplo gráfico do encerramento da posição no prejuízo ao final do semestre.....	24
Figura 6 - Evolução de retornos da estratégia de pairs trading, do IBOV e do CDI entre janeiro de 2005 e janeiro de 2017.	25
Figura 7 - Retorno do portfólio em relação ao início da estratégia.	26
Figura 8 - Retornos diários da estratégia de pares entre 2005 e 2017.....	27
Figura 9 - Evolução dos portfólios com posição em aberto.	28
Figura 10 - Gráfico Evolução da Carteira x Crise "Grande Recessão".	30
Figura 11 - Gráfico Evolução da Carteira x Crise Dívida Grega.	30
Figura 12 – Gráfico Evolução da Carteira x Crise da China.....	31
Figura 13 - Gráfico Evolução da Carteira x Crise Fiscal Brasileira.....	31
Figura 14 - Fórmula Representação da Relação de Cointegração entre duas séries temporais.....	37
Figura 15 - Fórmula Relação de Equilíbrio de Longo Prazo.	37
Figura 16 - Fórmula de Cálculo do Spread base – Modelo de Cointegração.....	37
Figura 17 - Fórmula de Cálculo do Gatilho do Spread Normalizado – Modelo de Cointegração.	38
Figura 18 - Fórmula de Copula de Distribuição Multivariada.	39
Figura 19 - Fórmula da Função de densidade de copula.....	39
Figura 20 - Fórmula da Função acumulada de probabilidade.....	39

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação do Sharpe Ratio do portfólio de pares com o Ibovespa.	28
Tabela 2 - Intervalos selecionados nas crises analisadas.	29
Tabela 3 - Tabela de Resultados do Teste-t.	32

LISTA DE SIGLAS

BOVESPA - Bolsa de Valores de São Paulo

CDI – Certificado de Depósito Interbancário

ETF - Exchange Traded Funds

IBOVESPA – Índice da Bolsa de Valores de São Paulo

MCE - Modelo de Correção de Erros

MMQ – Método dos Mínimos Quadrados

SDQ – Soma da Diferença dos Quadrados

1 - Introdução:

As estratégias de *pairs trading* tiveram seu início nos anos 80, com os trabalhos de Bamberger e Tartaglia. Utilizando técnicas estatísticas, basicamente, desenvolveram um algoritmo que pudesse identificar e aproveitar oportunidades de arbitragens utilizando duas ações que possuíssem uma alta correlação entre si. Inicialmente, identificavam duas ações cujos preços tinham um comportamento semelhante no longo prazo. No momento em que essa relação se modificava produzindo uma distância entre o preço dos dois ativos, entravam comprando e vendendo até que aquela diferença retornasse ao patamar acompanhado anteriormente. Esta metodologia é conhecida como Método da Distância.

Desde sua criação, essa estratégia vem sendo utilizada por muitos agentes, como, por exemplo, gestores de fundos de investimento. Além disso, foi amplamente estudada em diferentes mercados, períodos e metodologias por autores como Jacobs e Weber (2015) que analisou 34 países; Lin et al (2006) e Bogomolov (2011), que analisaram ações do mercado australiano; e Caldeira e Moura (2013), no mercado brasileiro.

Tomando como base a popularidade e, principalmente, a simplicidade de implantação, o método de distância para *pairs trading* foi escolhido neste trabalho para analisar o efeito de crises sobre a estratégia de pares no Brasil. Além disso, em trabalhos de autores como Do e Faff (2010), ou Rad, Low e Faff (2012), verificou-se que outras metodologias foram estudadas, como os métodos de cointegração e de cópula, buscando verificar se modelos mais complexos trariam retornos maiores e mais robustos do que a metodologia de distância até então adotada.

A ideia deste trabalho é tomar um caminho diverso da busca de modelos cada vez mais complexos. Isso porque tais métodos exigem um grau de conhecimento e um patamar tecnológico elevado para o cálculo e para a identificação das oportunidades de arbitragem estatística, tornando-os inacessíveis a parte dos gestores. Com isso, pode-se concentrar na verificação das oportunidades geradas pelo método de distância em momentos ainda não analisados no segmento acadêmico e extremamente relevante. Nos últimos anos, o Brasil se encontra não apenas em instabilidade política, como atravessa a pior crise econômica de sua história.

É importante que se mantenha um acompanhamento da performance a fim de verificar se a redução nas oportunidades de arbitragem para a metodologia de distância identificada em Do e Faff (2010) ocorreram no Brasil ou se a estratégia apresenta retornos consistentes durante o período. Em suma, o objetivo desta dissertação é testar o método da distância no mercado brasileiro entre 2014 e 2017, buscando analisar sua performance no momento de crise econômica e política brasileira.

O método de distância consiste em analisar duas ações que tenham seus preços caminhando de forma semelhante, e, num dado momento, tem seus spreads ampliados por um motivo qualquer. Nesse instante, a estratégia base seria comprar a ação com menor valor, a qual podemos chamar de “perdedora” e vendemos a “ganhadora”. Desta forma, seria possível obter retornos com desvios de curto prazo, dado que há, no longo prazo, uma relação de equilíbrio.

Levamos em consideração as 300 ações com os maiores valores de mercado, tanto ativas como canceladas, com o intuito de eliminar o viés de sobrevivência. Assim, coletam-se, hoje, ações que não estão mais em negociação, pois, no passado, não se era possível saber que uma empresa deixaria de ter sua ação negociada em bolsa.

Além disso, foram coletados dados diários destas ações desde janeiro de 2004 a julho de 2017: cotações de fechamento (ajustado para proventos); valor de mercado; e volume. O funcionamento dos testes depende exclusivamente das cotações das ações coletadas. Os outros dados foram usados nos filtros: utilizando um filtro mensal de volume, conseguimos auferir as ações de maior liquidez, diminuindo a carteira selecionada de 300 ações para cerca de 100. A estratégia se mostrou vencedora na crise de 2008 e não houve diferença estatística nas crises de 2010, 2013 e 2015. Para o período completo, o Índice de Sharpe ficou em 0,6.

Este trabalho ficou estruturado da seguinte forma: na sequência, temos uma revisão da literatura envolvendo algumas metodologias de *pairs trading*, com destaque ao método de distância, foco do trabalho. Na seção seguinte, abordamos a base de dados e a metodologia utilizada. Na quarta seção, apresentamos todos os resultados obtidos, concluindo na seção seguinte.

2 - Revisão da Literatura:

O método de distância foi estudado por Gatev et al. (2006), utilizando uma base de dados que abrangia o período de 1962 a 2002. Eles demonstraram que essa estratégia era capaz de gerar ganhos nesse período.

Nesse método, quando a distância entre os preços alcançava um valor pré-determinado pelo analista, a operação era realizada no mercado, comprando a ação que estava mais barata e vendendo a que estava mais cara. O intuito é esperar uma correção, ou do preço mais barato seguindo na direção do outro que avançou e vice-versa ou ainda, uma situação em que ambas tendam a convergir para um patamar em comum. Desta forma, o operador acaba obtendo lucro nas duas pontas da operação realizada, tanto de compra, quanto de venda.

Motivado pelo desempenho observado na década de 80, quando do desenvolvimento da estratégia, e também por conta de sua simplicidade de implantação e execução, o método passou a ser amplamente utilizado pelo mercado. Isso fez com que Gatev resolvesse analisar a hipótese de que, devido à popularidade que a estratégia tinha obtido, as oportunidades de arbitragem teriam desaparecido. Seus resultados foram positivos: obtiveram, em média, 10.4% por ano (desvio-padrão de 3.8%) utilizando-se dos 20 pares selecionados com base no método de minimização da soma dos desvios ao quadrado.

Em 2010, esse estudo foi colocado à prova por Do e Faff (2010), que encontraram uma lucratividade do método maior nas décadas de 70 e 80 do que a partir dos anos 90. Além disso, verificaram dois momentos de divergência sobre a análise de queda nos resultados em períodos de tendência de baixa no mercado: de 2000 a 2002 e de 2007 a 2009, a estratégia apresentou retornos significantes.

Eles supuseram que uma das causas para o declínio recente da estratégia era o aumento da formação de pares que divergiam num primeiro momento, gerando o sinal para a operação, porém, não convergiam, reduzindo assim as oportunidades de arbitragem que poderiam ser identificadas para a estratégia.

Em 2012, Do e Faff retornaram ao estudo, desta vez, incluindo os custos de transação e chegaram à conclusão que a estratégia apresentava uma performance pior após a inclusão desses custos. O período que demonstrou a mudança nos resultados se inicia a partir do ano de 2002. Concluiu-se então que, na média, a estratégia do método de distância não era lucrativa.

Jacobs e Weber (2015) também analisaram o método de distância em 34 países e concluíram que, apesar de a estratégia se mostrar lucrativa, essa performance de resultados não é robusta, mudando de acordo com a forma que os agentes reagem às novas informações do mercado.

Com novos estudos que traziam resultados desfavoráveis à estratégia, outras metodologias foram sendo desenvolvidas, tais como o método de cointegração e, mais recentemente, uma metodologia de risco conhecida como Cópula.

Rad, Low e Faff (2012) utilizaram a vasta literatura sobre o tema de estratégias de *pairs trading* para comparar os testes realizados ao longo do tempo e verificar não somente se as estratégias se mantinham lucrativas ao longo do tempo, como também, testar a estratégia de cópula. Assumia-se, então, o princípio de que os ativos, além de correlacionados, possuíam propriedades de retorno à média.

O método de cointegração é um processo dividido em duas etapas e que se utiliza do Modelo de Correção de Erros - MCE (Engle e Granger), fazendo justamente a ligação entre os desvios identificados no curto prazo e as suas respectivas correções futuras. Como no método da distância, busca a existência de uma relação entre os movimentos dos preços das ações.

Vidyamurthy (2004) verificou que era possível utilizar a cointegração aplicado ao modelo de *pairs trading*. Nesse caso, para que se pudesse estimar uma banda ótima para a realização das operações, seria de extrema importância que se obtivessem as características residuais. Este trabalhou com a hipótese de que a cointegração possuía um equilíbrio de longo prazo que só seria interrompido por algum fator externo (ruído) e que posteriormente seria corrigido.

Estudos que levaram em consideração uma amostra menor, pelo período ou pela quantidade de ações e países analisados, também foram realizados e tiveram parte de colaboração no tema. Por exemplo, Lin et al (2006), que utilizou apenas duas ações do mercado da Austrália e um período de apenas um ano. Este implantou cinco passos para que se fossem realizadas as operações a que chamou de mínimo de lucro nominal por operação, mas que, por fim, acabavam não agregando muitas restrições aos critérios de entrada ou de saída de uma determinada ação. Ele motivava o uso da cointegração para identificar o equilíbrio de longo prazo no intervalo entre os preços das ações que formavam o par.

Bogomolov (2011) utilizou o mercado australiano para análise, porém, com uma amostra mais expressiva. Nesse artigo, testou, além dos dois métodos citados acima, um terceiro, de Spread Estocástico, utilizando um período de 14 anos (1996 a 2010). Chegou à conclusão de que, enquanto não houver a inclusão dos custos de transação na análise dessas estratégias, elas se mostram bastante lucrativas, porém, não possuem o mesmo resultado posteriormente. Por sua vez, Galenko et al. (2012) fez a análise da estratégia de *pairs trading* utilizando ETFs. Os resultados empíricos que eles obtiveram demonstraram que a estratégia não apenas superava a também conhecida estratégia *buy-and-hold*, como também produzia retornos positivos para o pior período de crise das hipotecas *sub-prime* (setembro de 2008 a março de 2009).

No Brasil, Caldeira e Moura (2013) utilizaram dados da Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa) num período de 7 anos (2005 a 2012) e obtiveram retornos acima de 15% ao ano e um Índice de Sharpe de aproximadamente 1,34. Huck and Afawubo (2015) and Huck (2015) realizaram o estudo com 225 ações do S&P 500 e Nikkei e concluíram que as estratégias traziam retornos positivos.

Quanto à estratégia de cópula, Xie and Wu (2013) propuseram o uso da estratégia, que foi colocada em teste posteriormente pelo próprio Wu (2013). Ele utilizou apenas três pares e uma base de dados bastante restrita. Neste método de cópula avalia-se se uma ação estaria sobrevalorizada ou não em relação ao seu par. Com essa base limitada, concluiu que a estratégia era mais lucrativa e possuía mais oportunidades de execução (arbitragem) que as duas outras analisadas. Além disso, as demais estratégias quantitativas teriam uso limitado por conta das

restrições aplicadas na formação dos pares, por exemplo, a questão da simetria e da linearidade. O método de cópula é utilizado justamente para amenizar essas restrições.

Xie et al. (2014), com um horizonte inferior a 10 anos, coletou dados de 89 ações do mercado americano para teste. Conseguiu demonstrar que Gatev et al. (2006) perdia em resultados finais para a mesma estratégia se fosse aplicada levando em consideração a determinação do spread ótimo pelo método de cópula.

3 - Metodologia:

Para este estudo, utilizaremos, como referência, a metodologia por descrita em Rad, Low e Faff (2012) na formação dos pares e parâmetros que determinam o critério de abertura e de fechamento das operações, porém, com alguns ajustes. A grande maioria dos autores citados na revisão da literatura implantaram a mesma metodologia que Gatev (2006) para a metodologia de distância, ou seja, selecionaram os pares com menor somatório quadrado da diferença dos preços normalizados (SQD) dado pela equação (1):

$$Dif_t^{xy} = \sum_{i=1}^{252} (Px - Py)^2 \quad (1)$$

A partir do subitem 3.1, detalha-se essa metodologia.

3.1 - Dados Utilizados:

Para esta análise, coletamos dados diários de 300 ações com maior valor de mercado da Bovespa no sistema da Economática. Como estamos buscando uma análise onde não nos preocupamos com ações que deixaram, ou podem deixar de ser negociadas, buscamos ações ativas e canceladas para o período de janeiro de 2004 a agosto de 2017 (3550 dias ou 164 meses).

De posse destas ações, para cada rodada da estratégia, utilizamos um filtro de negócios no dia, mantendo apenas as ações que possuíram ao menos uma negociação em todos os pregões nos últimos 252 dias. Após esse filtro, usamos o volume diário negociado neste mesmo período, com o intuito de se obter apenas as ações mais líquidas no mercado. Nesse filtro de liquidez, ficamos com as ações 50% mais líquidas dentre aquelas com negociação diária nos últimos 252 dias úteis. Essas ações foram as selecionadas para a análise de formação dos pares.

Não restringimos a análise a nenhum segmento específico, nem a ações com ou sem direito a voto. Fatores fundamentalistas também não foram abordados. Utilizamos apenas o filtro de liquidez com o objetivo de não nos depararmos com poucas negociações, ou características que pudessem desvirtuar e enviesar a análise. Além disso, a análise não leva em conta os custos de operação nem as dificuldades relacionadas ao aluguel de ações no Brasil

Para rodar os códigos, foram usadas as cotações diárias de fechamento das ações ajustadas pelos proventos em geral e os dados de volume negociado diariamente.

3.2 – Escolha dos Períodos: Crises

Na figura 1, temos o gráfico de evolução do Ibovespa, de forma a identificar os períodos de crise em que estamos buscando verificar a performance da estratégia.

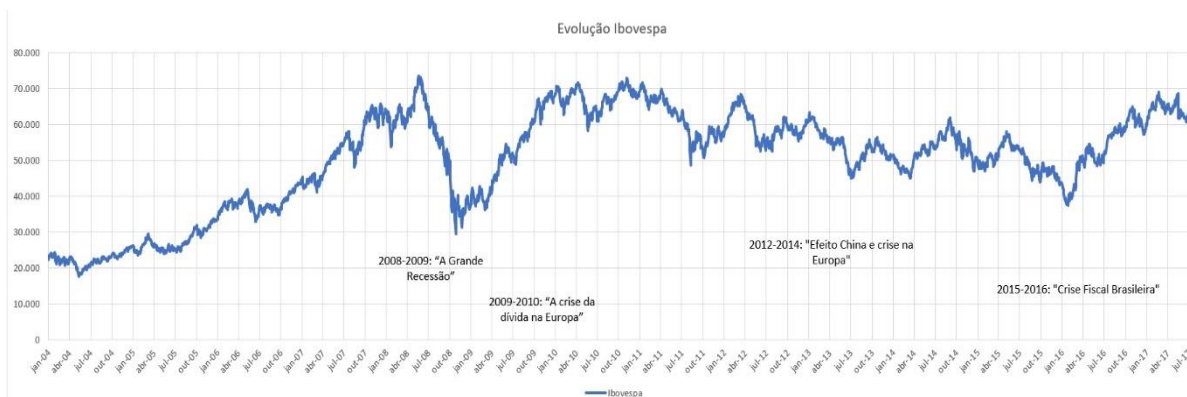


Figura 1 - Gráfico Ibovespa com destaque nas principais crises.

Destacamos quatro períodos que entendemos terem se destacado em relação às crises mundiais e nacional.

Iniciada em 2008, a crise que ficou conhecida como “A Grande Recessão”, que foi motivada pelo estouro da bolha imobiliária americana, contaminou não apenas os EUA como todo o mundo. As hipotecas *sub-prime* começaram a ser negociadas para todos os tipos de clientes, inclusive os que não tinham condição de pagar. Com o estouro dessa bolha, o EUA enfrentou a sua pior crise econômica desde 1929. Diversas propostas de reforma foram realizadas tanto pelo presidente da época, George W. Bush, como pelo seu sucessor, Barack Obama.

Em 2009 e 2010, identificamos a Crise da dívida na Europa, com foco principal no grande problema fiscal que a Grécia enfrentava. Esta revelou que possuía uma dívida muito maior do que aquela apresentada anteriormente, e o mercado recebeu não apenas essa notícia, como toda a dificuldade encontrada pela União Europeia e o FMI durante a negociação dos parâmetros que deveriam ser cumpridos para que fosse dado um grande socorro financeiro. O

medo de contaminação para outros países da Europa fez com que o mercado reagisse de forma negativa, afetando todo o mundo.

Nos anos de 2012 a 2014, tivemos dois fatores que mantiveram o período de instabilidade mundial. Como no parágrafo anterior, a crise fiscal na Europa ainda permanecia, e no ano de 2013, a China começou a apresentar desaceleração, o que trazia um sinal negativo para o mundo, dado que este país é um grande comprador de commodities. Como resultado, os preços caíram de forma significativa, trazendo problemas também para todo o mundo, em especial, para o Brasil, que possui suas receitas principais atreladas às commodities.

De 2014 em diante, com a reeleição no Brasil e as constantes denúncias realizadas, o clima de incerteza em relação ao país se instaurou. Não apenas por conflitos relacionados a denúncias de desvios nas principais instituições estatais, mas também pela falta de definição em relação às políticas que seriam adotadas visando encerrar a recessão na qual o Brasil se encontrava. Toda essa incerteza causou uma queda nos investimentos no país.

3.3 – Método da Distância

Utilizando as cotações de fechamento, calculamos os retornos diários dos últimos 12 meses para as ações selecionadas no filtro de liquidez descrito na seção 3.1. normalizamos os preços das ações dando valor 1 ao primeiro dia do início desse intervalo de tempo de 12 meses e aplicando o retorno encontrado num dia ao preço normalizado no dia anterior.

Utilizando o software MatLab, calculamos a diferença diária do preço de cada possível par de ações que poderia ser formado com aquelas selecionadas após os filtros. Calculamos, então, o desvio-padrão dessas diferenças de preço. Essa informação será usada no período de negociação, para determinar a abertura e o fechamento de uma operação de par. Além disso, elevamos essa diferença ao quadrado e somamos para todo o período (Soma do Quadrado das Diferenças – SQD).

Por fim, selecionamos os 15 pares com menores SQD para que sejam monitorados no período de negociação a fim de lucrar em oportunidades de arbitragem que esses pares possam trazer. Essa variável de número de pares também é arbitrária e pode ser ajustada. No artigo base

que utilizamos, o autor trabalhou com 20 pares de ações, no entanto, sua amostra obtida no mercado americano disponibiliza uma massa de dados muito mais extensa que a brasileira.

Essa seleção de pares é feita a cada 21 dias (mensal). Apesar de ser uma periodicidade arbitrária, estamos buscando manter de forma mais semelhante possível os parâmetros da metodologia proposta por Rad, Low e Faff (2012) e por Gatev (2006).

Para realizar a operação, novamente, igualamos as ações dos pares no primeiro dia de negociação a 1. O primeiro dia do período de negociação é exatamente o dia seguinte ao último dia dos 12 meses do período de formação dos pares.

O valor usado como referência para abrir uma operação é de dois desvios-padrões, ou seja, calculamos a diferença entre os preços das ações que formam os pares dia a dia, e, no momento em que essa diferença ultrapassa o valor de dois desvios calculados no período de formação, uma operação seria realizada nas pontas comprada e vendida.

No momento em que essa diferença retorna a menos que um desvio padrão, as posições são encerradas. Este critério também foi modificado em relação ao texto base, pois gostaríamos de testar o modelo de forma que desse fim a operações que, antes vencedoras, acabavam trazendo prejuízo, pois atingiam um valor muito próximo de zero, mas não exatamente a ponto de fechar a operação como no artigo base. O outro critério utilizado foi a finalização do período de *trading* limitado a 126 dias (6 meses). Mesmo que a diferença entre os pares não seja menor que 1 desvio-padrão, ainda assim, a operação com esse par é fechada.

Durante os 6 meses, período de negociação, esse monitoramento é realizado e, sempre que ocorrer essa superação dos dois desvios no cálculo da diferença, novas posições de compra e venda são tomadas.

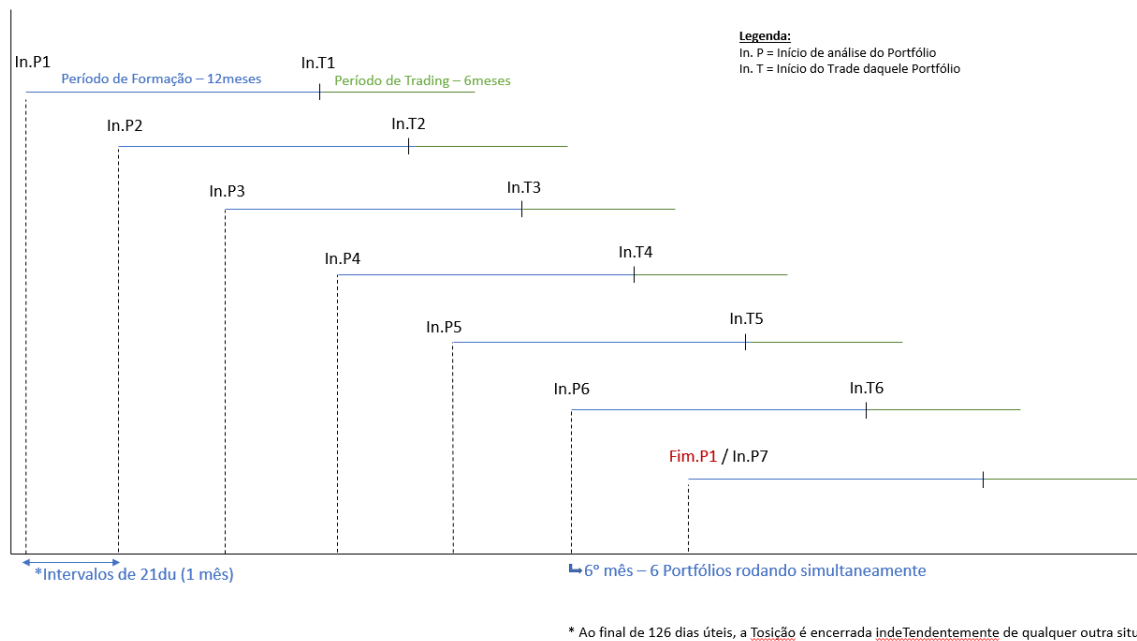


Figura 2 - Racional da Metodologia de Distância

Como pode-se ver pela figura 2, o estudo começa analisando um portfólio, o qual chamamos de P1, no horizonte de um ano. Após isso, dados os passos citados anteriormente, teremos os 15 pares de ações para as operações que possam aparecer. Com o passar dos meses, a cada novo mês um novo portfólio com 15 pares de ações é criado, o qual recebe o nome de P2, e a sequência assim seguirá. Com isso, ao final do sexto mês, teremos seis portfólios rodando simultaneamente. Com o passar do tempo, os que foram criados primeiro vão sendo encerrados, e novos portfólios vão sendo criados. Desta forma a estratégia vai caminhando ao longo do tempo e se ajustando dado que, agora, ele vai utilizando também as informações mais recentes que estarão disponíveis. Isso garante maior diversificação à estratégia, reduzindo o risco.

Outras metodologias citadas brevemente no item de revisão de literatura deste trabalho, tais quais, cópula e o também conhecido método de cointegração, podem ser verificadas no apêndice deste documento.

4 – Resultados

Começaremos a demonstração dos resultados buscando esclarecer primeiro o funcionamento do monitoramento durante todo o período de *trading*, exemplificando graficamente os momentos em que as operações são realizadas ou não.

Na figura 3, podemos ver que, durante todo o período de *trading*, os preços das ações que formam o par selecionado não se distanciaram o suficiente (mais que dois desvios padrão) para que a operação pudesse ser aberta.

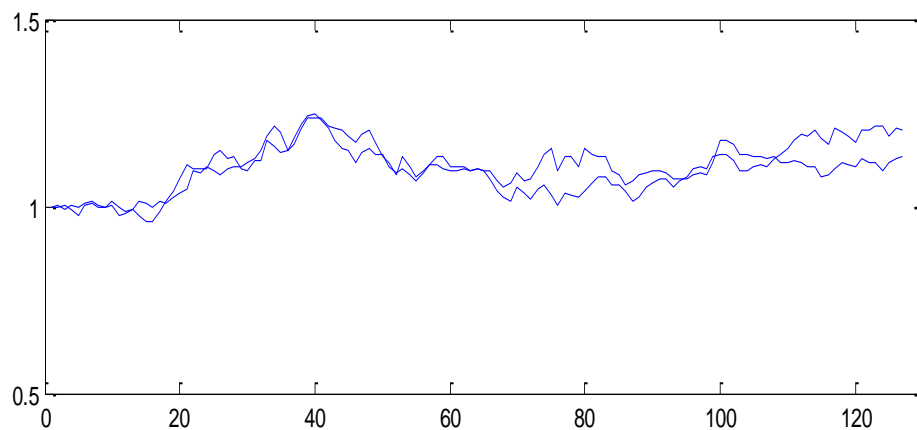


Figura 3 - Exemplo gráfico quando não há abertura de operação.

Na figura 4, a linha vermelha demonstra, nos seus trechos superiores, todo o momento existente entre a abertura e o encerramento de uma operação. É possível notar a amplitude entre as linhas azuis durante todo o período que a operação está acontecendo. A operação está parametrizada de forma a ser iniciada quando a diferença supera os dois desvios padrões, e se encerra ao ficar abaixo de 1 desvio padrão, ou seja, ela se encerra antes mesmo que as linhas de preços se cruzem.

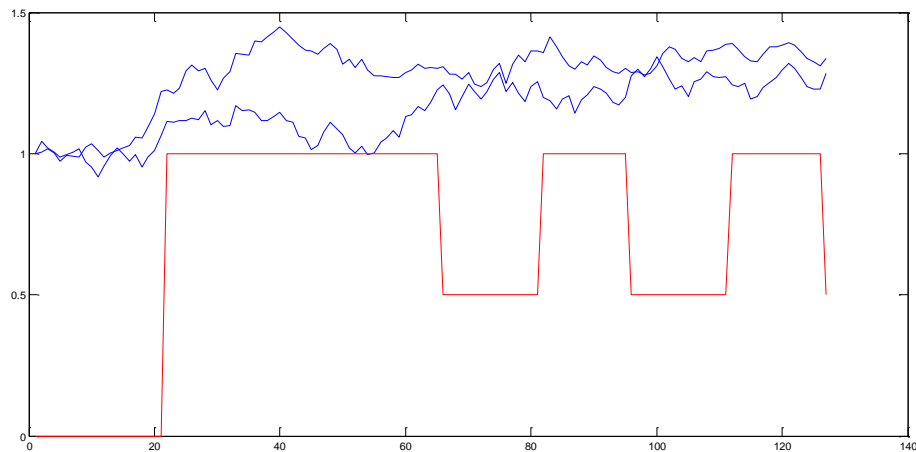


Figura 4 - Exemplo gráfico de três operações durante o período de trading.

O outro critério utilizado para encerramento da operação foi parametrizado em relação ao período e ao portfólio completo. Esclarecendo, partindo do início, a cada mês, era selecionado um portfólio de 15 pares que ficavam sendo monitorados em busca do sinal de entrada em operação.

Isso quer dizer que, a partir do sexto mês, há 6 portfólios de 15 pares em monitoramento simultâneo. No sétimo mês, temos o segundo parâmetro de encerramento, onde o primeiro portfólio gerado no primeiro mês tem suas posições encerradas independentemente de lucro ou de prejuízo ou de diferença abaixo de 1 desvio. Desta forma, cada portfólio tem um período de monitoramento semestral, sendo encerrado na sequência.

Na figura 5, temos um exemplo onde a operação precisou ser encerrada por conta do final do período de trading e não por ter alcançado um valor inferior a um desvio padrão.

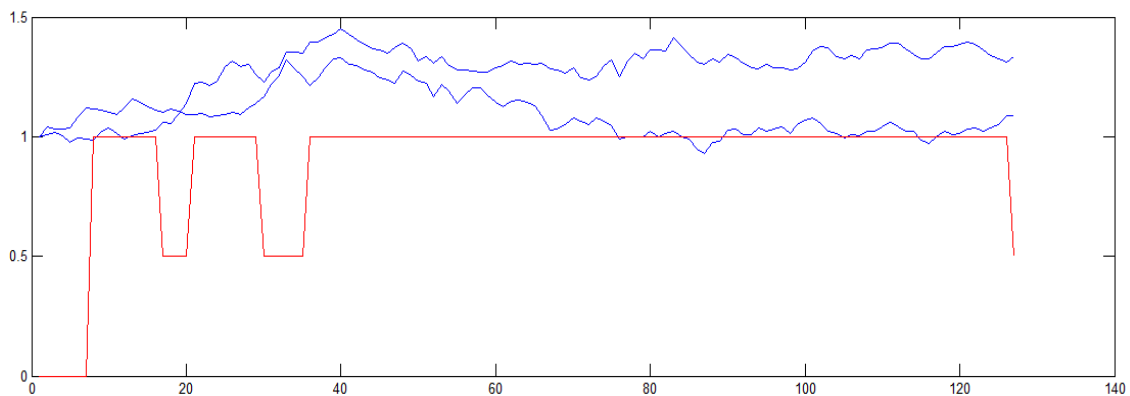


Figura 5 - Exemplo gráfico do encerramento da posição no prejuízo ao final do semestre.

Após a apresentação das figuras anteriores é possível concluir que um portfólio de 15 pares pode passar todo o seu período de trading sem que nenhum par gere alguma entrada. O contrário também é válido, onde, durante o sexto mês, pode ser que absolutamente todos os pares de todos os portfólios estejam dentro de alguma operação.

Como resultado, durante todo o período analisado, o portfólio foi vencedor. O investidor que tivesse realizado a estratégia desde o início do período de negociação em janeiro de 2005 até janeiro de 2017 teria obtido um retorno de 800% aproximadamente, sem levar em conta os custos de transação, custos de aluguel de ação para a posição vendida e a disponibilidade dos papéis para aluguel.

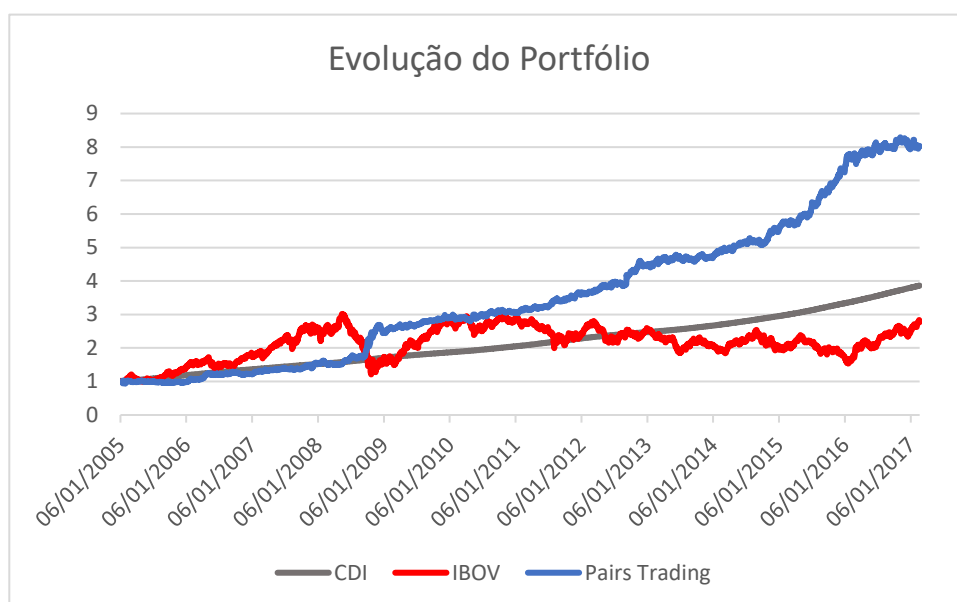


Figura 6 - Evolução de retornos da estratégia de pairs trading, do IBOV e do CDI entre janeiro de 2005 e janeiro de 2017.

Com a figura 6, também é possível observar que durante períodos onde o Ibovespa encontrava-se caminhando lateralmente, o portfólio apresentava ganhos crescentes. Isso parece consistente com a premissa principal da estratégia, que busca pares de ações cujos preços tenham uma relação de equilíbrio de longo prazo, aproveitando-se assim dos desvios no curto prazo. Ou seja, os preços possuem propriedades de reversão à média. Num primeiro momento, o resultado obtido, mesmo sendo hipotético, dado que não foram contabilizados custos de transações nem dificuldades com o aluguel de ações, parece significativamente vencedor.

Porém, esse resultado aconteceria apenas para o investidor que cumprisse exatamente toda a métrica anteriormente detalhada, no mesmo período, e pudesse contar com a superação das fraquezas da estratégia, como a falta de ações disponíveis para alugar.

Na figura 7, temos o retorno obtido por um investidor que adotasse a estratégia num determinado dia e ficasse nessa estratégia até o final do período. Nesse gráfico, pode-se observar que investidores que tivessem adotado a metodologia a partir de 2013 não teriam um retorno muito acima do retorno do CDI. Para aqueles que entraram a partir de 2015, a estratégia chega a perder do IBOVESPA.

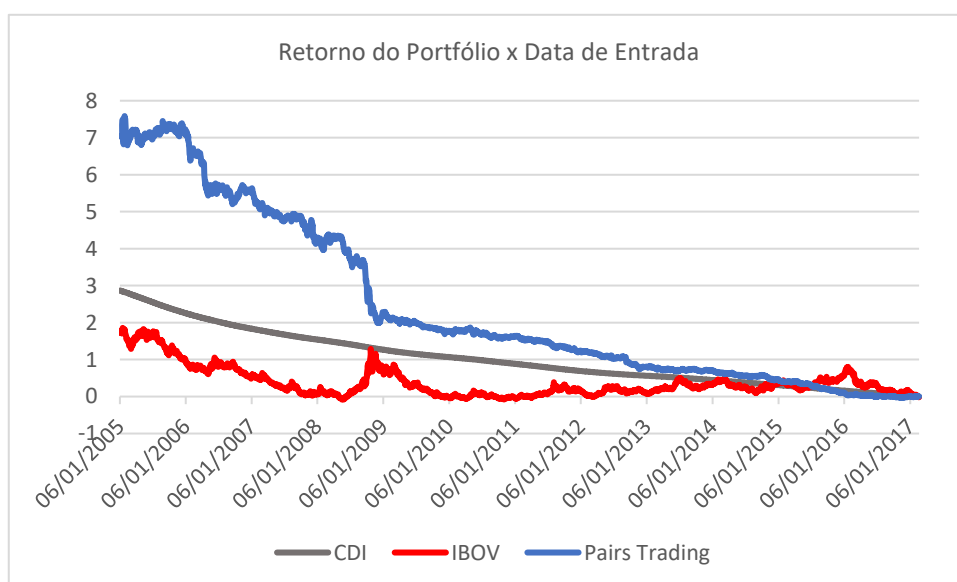


Figura 7 - Retorno do portfólio em relação ao início da estratégia.

Para que as figuras 6 e 7 não induzam à interpretação que a estratégia possuiu uma massa de retornos grande no início e posteriormente apenas com resultados perdedores, incluímos a figura 8, onde é possível verificar que os retornos se comportaram na maior parte do tempo de forma bastante similar, contendo retornos atípicos em dias pontuais.

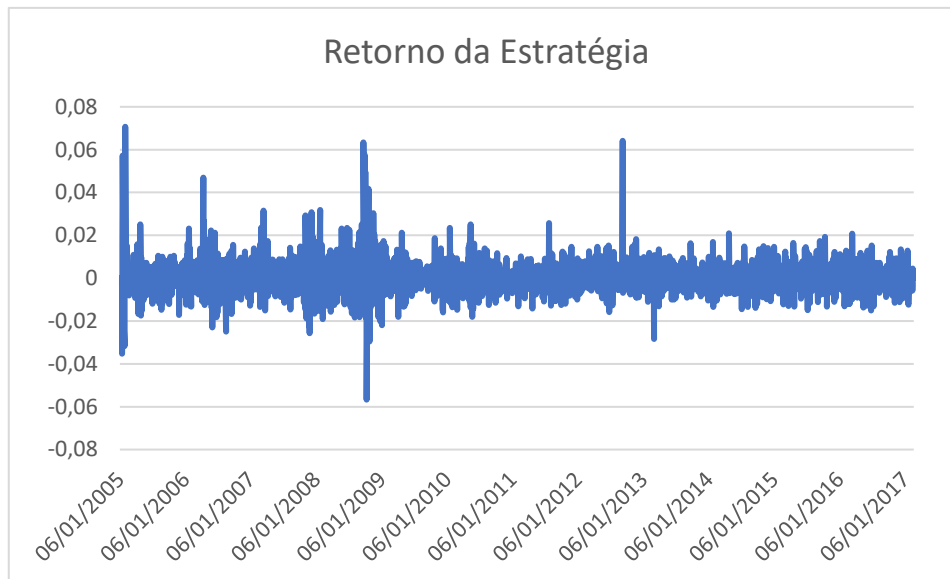


Figura 8 - Retornos diários da estratégia de pares entre 2005 e 2017.

Fazendo uma avaliação das 90 carteiras de pares negociadas no período, de acordo com o dia de negociação no período de trade (126 dias úteis), é possível verificar que o número de pares que entram numa operação cresce quase atingindo o máximo do portfólio ao final do semestre.

Isso ocorre, pois, com o passar do tempo, maior fica a chance de ocorrência de algum evento que provoque a abertura do par. Quando é levada em consideração a média de portfólios em andamento ao longo do período, ela também apresenta uma clara evolução no tempo, porém, não se aproxima tanto do número máximo de portfólios disponíveis.

A linha que diz respeito à variável "maior número de pares" compara as 90 carteiras a cada dia do período de trade e mostra o número de pares em negociação na carteira com o maior número de pares em negociação naquele dia.

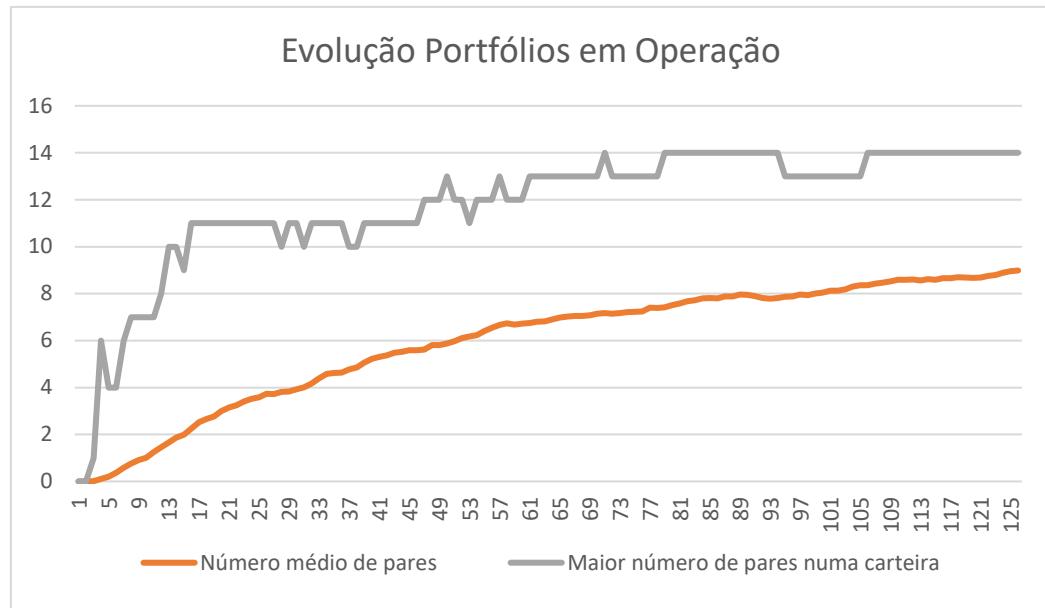


Figura 9 - Evolução dos portfólios com posição em aberto.

O retorno médio da estratégia foi de 18% anualmente, o que está dentro de um retorno plausível no mercado brasileiro. Isso porque, durante a maior parte o período analisado, a taxa de juros livre de risco brasileira era, em média, de 14% aproximadamente.

Outro argumento que reforça o resultado pode ser obtido no estudo de Caldas (2016):

"Para os EUA os portfólios formados através do método de distância possuem uma performance melhor, com retorno anual médio de até 13,9%, além de um índice de Sharpe estatisticamente superior aos dos portfólios formados pelo método de cointegração" Caldas (2016)

Como pode ser observado na Tabela 1, o *Sharpe* da estratégia foi 0,6 frente a 0,04 do Ibovespa. Caldas (2016) encontrou um *Sharpe* de 2,9 para dados dos EUA no período de julho de 1999 a janeiro de 2015.

Tabela 1 - Comparação do Sharpe Ratio do portfólio de pares com o Ibovespa.

Pairs	Diário	Anualizado
Média do Prêmio de Risco	0,000271	0,068172
Desvio-Padrão	0,007348	0,116643
	Sharpe	0,584

IBOV	Diário	Anualizado
Média do Prêmio de Risco	0,000040	0,010149
Desvio-Padrão	0,017680	0,280658
	Sharpe	0,036

Comparação do *Sharpe Ratio* do portfólio de pares com o Ibovespa.

4.1 – Resultados nas Crises

O objetivo principal desta dissertação é verificar se a estratégia, sendo *long-short*, consegue não perder tanto em crises.

Dentro de todo o período que foi coletado para análise, destacamos quatro intervalos de tempo específicos, para analisar o comportamento da estratégia antes e depois de algum tipo de informação que possam ter sido julgadas como relevante pelo mercado. Por exemplo, em outubro de 2009, iniciaram-se os rumores sobre a dívida grega, vindo à tona no início de 2010.

Em maio de 2013, agências de notícias relataram o desaquecimento na China, o que impactaria de forma significativa a economia nacional, e finalizando, o primeiro dia do atual governo, onde, devido à incerteza vivida pela crise política, o Brasil tem dificuldade de retomar seu crescimento.

Assim, podemos sintetizar os intervalos selecionados na tabela 2. Desta maneira, iremos analisar o comportamento da estratégia antes da notícia que potencialmente impactou o mercado e depois.

Tabela 2 - Intervalos selecionados nas crises analisadas.

Crise	Período	Dt. Inicial	Dt. Gatilho Crise	Dt. Final
A Grande Recessão	2008	16/11/2007	28/05/2008	27/10/2008
Dívida Grega	2009-2010	22/04/2009	22/10/2009	03/05/2010
Desaceleração da China	2013	22/11/2012	31/05/2013	28/11/2013
Crise Fiscal Brasileira	2015	02/07/2014	02/01/2015	07/07/2015

O resultado obtido na primeira crise (2008) foi o único que teve uma performance positiva significativa. Isso pode ser observado na figura 10.

Aqui, vemos a performance da estratégia com início 6 meses antes da data escolhida para início da crise e com término 6 meses depois.

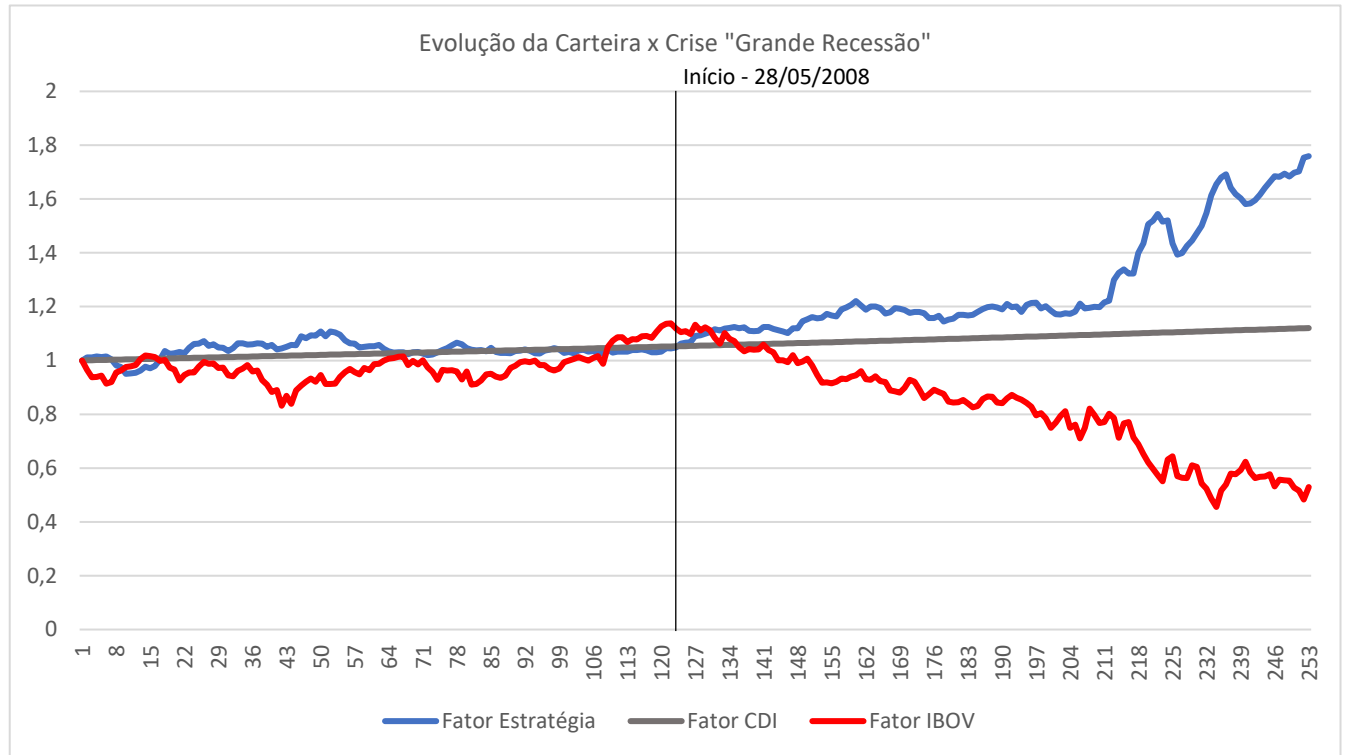


Figura 10 - Gráfico Evolução da Carteira x Crise "Grande Recessão".

Na Crise de 2009/2010, na figura 12, o desempenho não foi estatisticamente diferente antes e depois do início da crise.

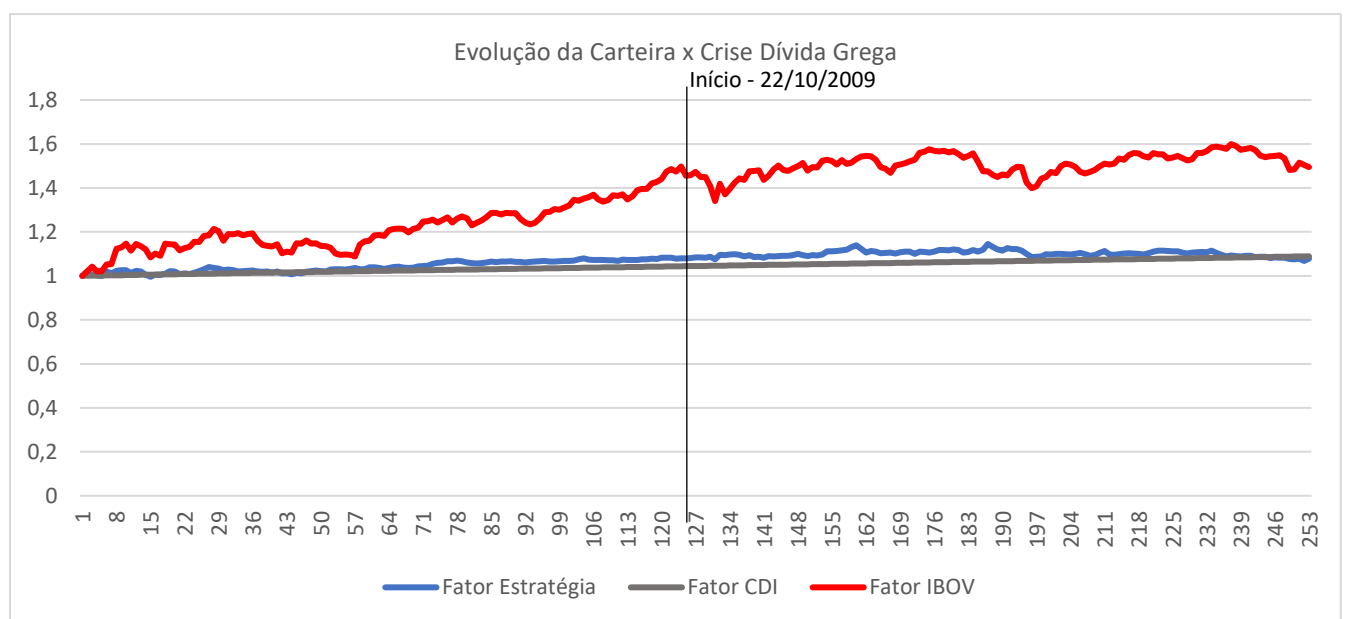


Figura 11 - Gráfico Evolução da Carteira x Crise Dívida Grega.

Como pode ser observado na figura 12, na crise originada pela queda das commodities, a estratégia não repetiu a performance da crise de 2008, mas também não apresentou um resultado vencedor frente ao mercado.

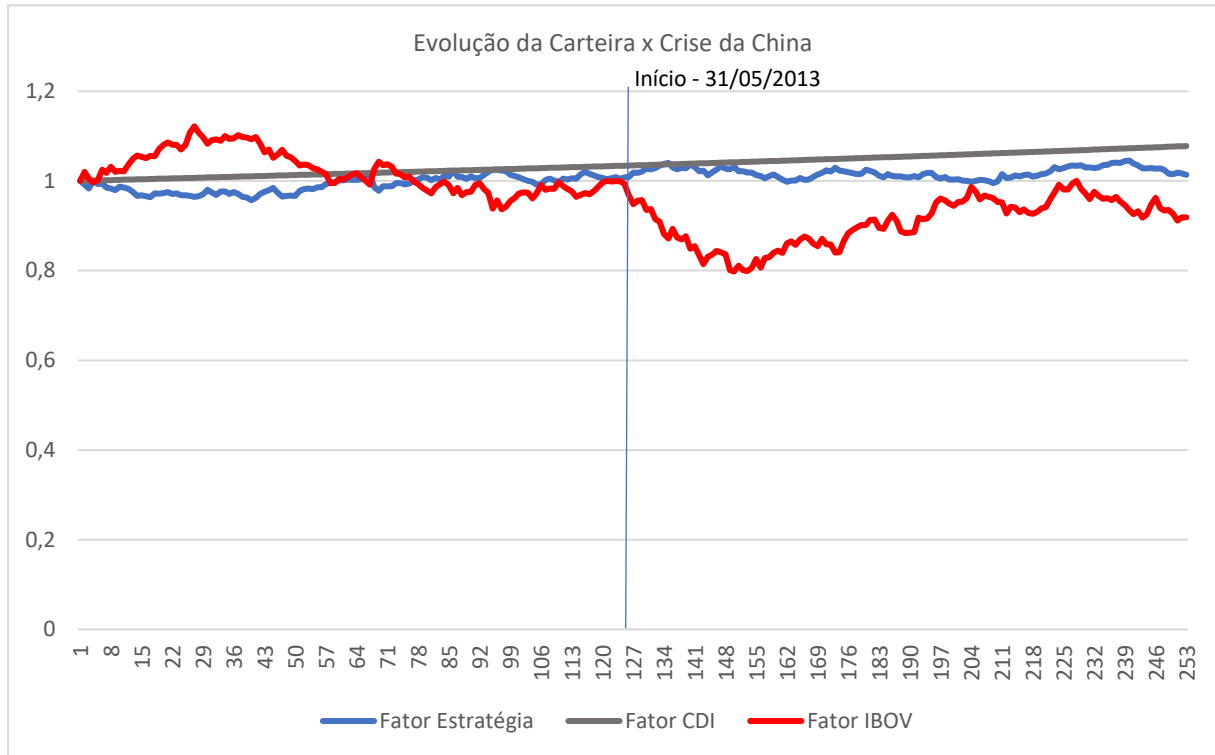


Figura 12 – Gráfico Evolução da Carteira x Crise da China.

O mesmo resultado se repetiu no último período analisado, a crise fiscal brasileira na figura 13.

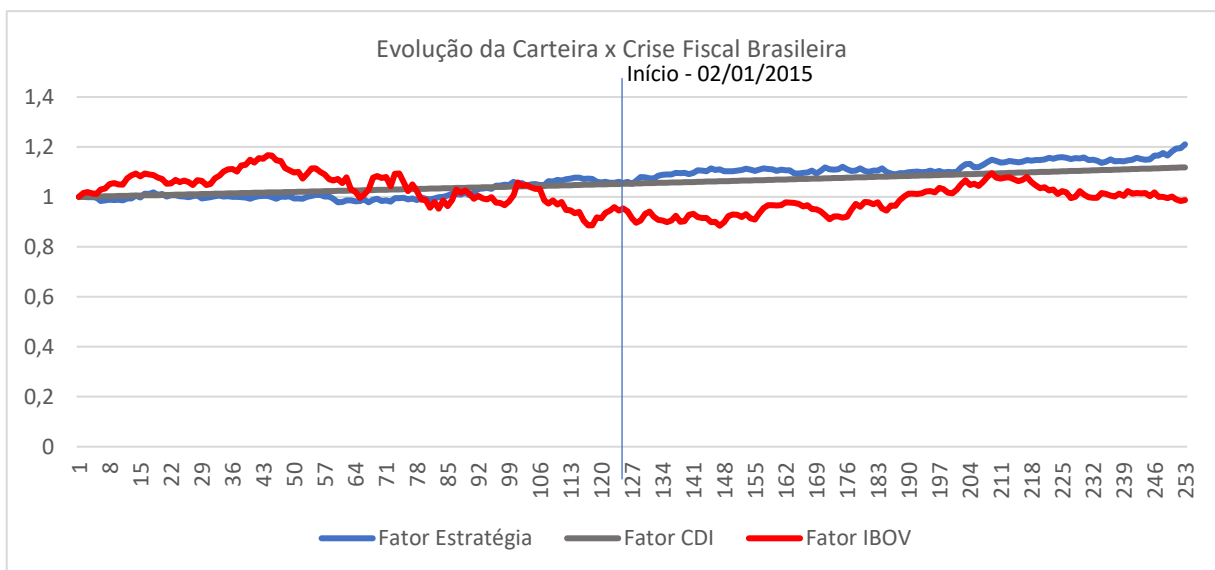


Figura 13 - Gráfico Evolução da Carteira x Crise Fiscal Brasileira.

4.2 - Resultado do Teste-t

Na tabela 03 temos o resultado do Teste-t para as médias dos retornos diários da estratégia nos 6 meses (126 observações) anteriores e nos 6 meses após as datas escolhidas para indicar o início das crises.

A hipótese nula do teste é de igualdade das médias.

Tabela 3 - Tabela de Resultados do Teste-t.

	2008		2009-2010		2013		2015	
Teste - t	Antes ₁	Depois ₁	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Média	0,0005044	0,0039134	0,0006842	-0,0000242	0,0001056	- 0,0000313	0,0004851	0,0011229
Variância	0,0000909	0,0002398	0,0000251	0,0000395	0,0000368	0,0000212	0,0000360	0,0000361
Graus de Liberdade	208		238		233		250	
Estatística t	- 2,1043230		0,9896946		0,2017611		- 0,8431507	
P-Valor unicaudal	0,0182757		0,1616643		0,4201398		0,1999751	
t Crítico unicaudal	1,6522124		1,6512812		1,6514196		1,6509715	
P-Valor bicaudal	0,0365513		0,3233285		0,8402795		0,3999501	
t Crítico bicaudal	1,9714347		1,9699815		1,9701976		1,9694984	

Na crise de 2008, a diferença entre as médias foi estatisticamente significativa para um nível de significância de 5%.

Isso significa que, estatisticamente, houve uma melhora no desempenho da estratégia com a crise. O retorno diário médio foi maior do que antes da crise.

Uma possível causa para esse resultado expressivo na crise de 2008 pode ser o forte lucro da estratégia na sua ponta vendida. Pela figura 1, é fácil verificar a forte queda na bolsa brasileira naquele período. Como as questões relacionadas ao aluguel no Brasil e os custos de operações não foram computados nesse estudo, o retorno pode ter sido sobrestimado, o que não invalida o resultado.

5 – Conclusão

O objetivo deste estudo era verificar como se comportou o método de distância da estratégia de *pairs trading* em momento de crises externas que tinham algum tipo de reflexo no mercado brasileiro e na crise do próprio ambiente nacional.

Os dados utilizados foram as cotações e os valores de mercado de 300 ações da Bovespa, os quais, após um filtro de liquidez e de negociação mínima, reduziu-se para um conjunto de ações que foram analisadas e combinadas em pares. Os pares com menor SQD seriam os escolhidos para monitoramento durante todo o período de negociação.

Concluímos, após a análise, que, apenas na crise de 2008, o retorno diário médio se mostrou estatisticamente maior após a crise. Isso demonstra que a estratégia foi vencedora. Nas outras três crises verificadas, não houve diferença entre os retornos médios antes e após as crises.

O Sharpe Ratio da estratégia é maior que o do Ibovespa no período, porém, menor que aqueles encontrados em outros artigos. O valor calculado do portfólio foi de 0,6 frente a 0,04 do Ibovespa.

Algumas variáveis importantes no mercado real não foram levadas em consideração nesse estudo, como as condições complicadas para o mercado de aluguel brasileiro, com altos custos e limitações de disponibilidade de papel. Não foi feito também nenhum tipo de estudo delimitando setores específicos ou com alguma característica em particular.

Dado todo o estudo já realizado sobre este tema, temos a sugestão de que se repliquem as análises feitas anteriormente, neste novo período, mas utilizando para o gatilho da operação outras metodologias, como o método estocástico, de cointegração, ou o método de cópula praticamente ainda não explorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Bogomolov, T., 2011. **Pairs trading in the land down under**. In: Finance and Corporate Governance Conference.
- Caldeira, J., Moura, G. V., 2013. **Selection of a portfolio of pairs based on cointegration: A statistical arbitrage strategy**. Available at SSRN 2196391.
- Do, B., Faff, R., 2010. **Does simple pairs trading still work?** Financial Analysts Journal 66 (4), 83–95.
- Do, B., Faff, R., 2012. **Are pairs trading profits robust to trading costs?** Journal of Financial Research 35 (2), 261–287.
- Engle, R. F., Granger, C. W., 1987. **Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing**. Econometrica: Journal of the Econometric Society 55 (2), 251–276.
- Galenko, A., Popova, E., Popova, I., 2012. **Trading in the presence of cointegration**. Journal of Alternative Investments 15 (1), 85–97.
- Gatev, E., Goetzmann, W. N., Rouwenhorst, K. G., 2006. **Pairs trading: Performance of a relative value arbitrage rule**. Review of Financial Studies 19 (3), 797–827.
- Joe, H., 1997. **Multivariate models and dependence concepts**. Chapman & Hall.
- Huck, N., 2015. **Pairs trading: does volatility timing matter?** Applied Economics, 1–18.
- Huck, N., Afawubo, K., 2015. **Pairs trading and selection methods: is cointegration superior?** Applied Economics 47 (6), 599–613.
- Jacobs, H., Weber, M., 2015. **On the determinants of pairs trading profitability**. Journal of Financial Markets 23, 75–97.
- Lin, Y., McCrae, M., Gulati, C., 2006. **Loss protection in pairs trading through minimum profit bounds: A cointegration approach**. Advances in Decision Sciences 2006.

Nelsen, B. R. (1999). **An Introduction to Copulas**. [S.l.: s.n.] ISBN 0-387-98623-5

Rad, H., Low, R. K. Y., Faff, R., 2012. **The profitability of pairs trading strategies: distance, cointegration, and copula methods**

Vidyamurthy, G., 2004. **Pairs trading: Quantitative methods and analysis**. J. Wiley, Hoboken, N.J.

Xie, W., Liew, Q. R., Wu, Y., Zou, X., 2014. **Pairs trading with copulas**. Available at SSRN 2383185.

Xie, W., Wu, Y., 2013. **Copula-based pairs trading strategy**. In: Asian Finance Association (AsFA) 2013 Conference.

Wei, G. N. F., Scheffer, M., 2015. **Mixture pair-copula-constructions**. Journal of Banking & Finance 54, 175–191.

Wu, Y., 2013. **Pairs trading: A copula approach**. Journal of Derivatives & Hedge Funds 19 (1), 12 – 30.

APÊNDICE – Outras Metodologias

Método de Cointegração

Para o método de cointegração utilizamos alguns conceitos abordados por outros autores. Um deles é o conceito de série estacionária, ou seja, quando a série apresenta um determinado equilíbrio em seu movimento ao longo do tempo, sempre caminhando dentro de uma média.

Tomando como base o conceito apresentado acima, para que duas séries consideradas estacionárias sejam cointegradas é necessário que exista uma relação de linearidade entre as duas.

Assim, a metodologia foi aplicada da seguinte forma, a primeira etapa se repetiu através da seleção dos pares pelo menor DSQ. Porém, nesse método, também é necessário que fosse feita uma verificação se as séries do par são cointegradas, etapa 2.

Na segunda etapa, foi utilizada a abordagem de dois passos de Engle-Granger (Engle and Granger – 1987). No primeiro passo dessa etapa, é realizada a forma de estimação mais usual na econometria que é a regressão por MMQ. Pares não cointegrados são descartados. Os pares que apresentam a propriedade de cointegração seguem na análise e tem o seu coeficiente de integração (beta) calculados.

Após isso, o segundo passo da etapa é a estimação do Modelo de Correção de Erros (MCE) e a definição do spread normalizado que será utilizado como gatilho das operações.

O MCE é utilizado pois, com ele é possível verificar a relação de equilíbrio de longo prazo. A verificação que se quis fazer por Engle, era se ϵ_t teria valor zero durante todo o período analisado, e, caso não fosse, ϵ_t representava o ruído e retornaria ao equilíbrio no longo prazo.

A figura 14 abaixo demonstra que a evolução da série vai depender então de uma taxa de correção e sua relação de cointegração, responsável pelos desvios que formam o fator de correção. Em suma, é o responsável justamente por trazer a série ao equilíbrio de longo prazo novamente, ou seja, apresenta a propriedade de reversão à média, e, o ruído.

$$\begin{aligned}
 X_{2,t} - X_{2,t-1} &= \alpha_{X_2}(X_{2,t-1} - \beta X_{1,t-1}) + \xi_{X_{2,t}} \\
 X_{1,t} - X_{1,t-1} &= \alpha_{X_1}(X_{2,t-1} - \beta X_{1,t-1}) + \xi_{X_{1,t}}
 \end{aligned}$$

Figura 14 - Fórmula Representação da Relação de Cointegração entre duas séries temporais.

Para a definição deste spread, continuamos fazendo uso do Teorema de Granger. Na fórmula 15, está a relação de equilíbrio entre as variáveis cointegradas X1 e X2, onde U_t é o erro de equilíbrio, ou seja, é aquele que expressa os desvios de curto prazo em relação ao equilíbrio de longo prazo. O Beta deverá ter seu valor diferente de zero (cointegração).

$$X_{2,t} - \beta X_{1,t} = u_t$$

Figura 15 - Fórmula Relação de Equilíbrio de Longo Prazo.

Com a o segundo passo da etapa 2 concluída, todos os spreads entre as ações foram calculados, sua média e seu desvio padrão, durante todo o período de formação. A fórmula da figura 16 demonstra a equação utilizada para o cálculo do Spread.

$$spread_t = X_{2,t} - \beta X_{1,t}$$

Figura 16 - Fórmula de Cálculo do Spread base – Modelo de Cointegração.

Utilizando essas duas equações, sai o parâmetro de referência (Spread normalizado) que iniciará uma operação de arbitragem caso supere dois desvios padrões.

$$spread_{normalized} = \frac{spread - \mu_e}{\sigma_e}$$

Figura 17 - Fórmula de Cálculo do Gatilho do Spread Normalizado – Modelo de Cointegração.

As operações permanecem sendo analisadas e são encerradas quando o spread retorna a zero, de forma idêntica ao método de distância.

Método de Copula

Como último método utilizado para comparação, vamos destrinchar um pouco a respeito dessa metodologia muito pouco testada ainda pelo mercado.

O método de copula consegue modelar as distribuições marginais de cada variável aleatória de forma independente, o que permite que se crie distribuições multivariadas de uma forma mais flexível, já que essa relação de independência nas distribuições, relaxa a restrição de linearidade imposta no método da distância, permitindo uma maior gama de combinações e um aumento na chance de identificação de assimetrias.

Dado isso, chegamos à conclusão que Copula é uma distribuição acumulada conjunta multivariada, de forma que todas as distribuições marginais que a compõem seguem uma distribuição uniforme no intervalo de 0 a 1. Informalmente falando, o que se é importante observar é que nessa distribuição teremos então todas as informações necessárias.

Segundo o Teorema de Sklar, Nelsen (1999), para qualquer par de variáveis aleatórias existirá uma função $C(u, v)$, tal que:

$$F_{X,Y}(x, y) = C(F_X(x), F_Y(y))$$

$$U = F_X(X) \text{ e } V = F_Y(Y),$$

Variáveis \sim Unif (0,1)

Figura 18 - Fórmula de Copula de Distribuição Multivariada.

Ou seja, desde que as variáveis aleatórias X e Y possam ter suas distribuições transformadas em distribuições uniformes, então, é possível gerar uma função de densidade de copula dessas variáveis.

$$F_{U,V}(u, v) = C(u, v)$$

Figura 19 - Fórmula da Função de densidade de copula.

A função acumulada de probabilidade então será a multiplicação da função de probabilidade de copula, pelas funções de densidades marginais. Formalmente, temos então a função de copula e sua função de densidade de probabilidade.

$$C(u_1, u_2, \dots, u_n) = C(\mathbf{u}) = \text{Prob}(U_1 < u_1, U_2 < u_2, \dots, U_n < u_n) \text{ com } u_n \in [0, 1],$$

$$\text{Prob}(U_i < u_i) = u_i \text{ para todo } i \in \{1, 2, \dots, n\}.$$

$$p_{X,Y}(x, y) = \frac{\partial^2 F_{X,Y}(x, y)}{\partial x \partial y} = c(F_X(x), F_Y(y)) p_X(x) p_Y(y)$$

$$c(u, v) = \frac{\partial^2}{\partial u \partial v} C(u, v)$$

Figura 20 - Fórmula da Função acumulada de probabilidade.

A partir daí podemos obter as derivadas parciais em relação a função de copula, conseguindo mensurar qual a probabilidade que uma variável tem de obter um valor inferior a

um outro pré-determinado, dado que a outra ação que compõem o par esteja num determinado valor.

Alcançado os valores das derivadas parciais das duas ações, temos então os parâmetros de referência para as operações. A seleção de pares não se alterou conforme dito, e, nessa metodologia, a segunda etapa da construção é realizada por Inferência em dois passos obtido em Joe (1997).