

COMPOSIÇÃO DE PORTFÓLIOS DE AÇÕES POR PAIRS TRADING COM CRITÉRIO DE VOLATILIDADE DOS ATIVOS NO MERCADO ACIONÁRIO BRASILEIRO

RAPHAEL SILVEIRA GUERRA CAVALCANTI
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

JOSÉTE FLORÊNCIO DOS SANTOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

RAMON RODRIGUES DOS SANTOS
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (UFPE)

ANDERSON GÓIS MARQUES DA CUNHA
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO (UPE)

Agradecimento à órgão de fomento:

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE).

COMPOSIÇÃO DE PORTFÓLIOS DE AÇÕES POR *PAIRS TRADING* COM CRITÉRIO DE VOLATILIDADE DOS ATIVOS NO MERCADO ACIONÁRIO BRASILEIRO

1 INTRODUÇÃO

A hipótese da eficiência de mercado (ou dos mercados eficientes) baseia-se na afirmação de que o preço de uma ação reflete as informações disponíveis a respeito da empresa emissora, ou seja, que novas informações no mercado de capitais são rapidamente incorporadas e ajustadas aos preços, afetando o fluxo de caixa e as expectativas futuras dos investidores (Fama, 1970).

Esta questão é discutida aos milhares, mas sem um consenso acerca da matéria (Fama, 1998), visto que somente a possibilidade de capturar ineficiências na precificação dos ativos é o que permitiria a obtenção de lucros sistemáticos por meio de algum método de negociação de ativos (Pontuschka & Perlin, 2015). Uma das estratégias aplicadas partiria da abertura de uma posição comprada (*long*) e, no mesmo instante, uma posição vendida (*short*), partindo-se da busca em obter lucros a partir da convergência dos preços dos ativos negociados. Estas operações, também conhecidas como estratégias de *pairs trading*, ou *long-short*, esperam que a divergência observada retorne ao equilíbrio de longo prazo, vendendo-se o ativo sobrevalorizado e comprando-se o outro subvalorizado, encerrando a operação quando a divergência entre os ativos cessa (Santos & Pessoa, 2017).

O desenvolvimento do modelo de arbitragem estatística em *pairs trading* é atribuído à Nunzio Tartaglia e ao seu grupo de trabalho composto de matemáticos, físicos e programadores no banco *Morgan Stanley*, que aplicaram essa estratégia em meados de 1987, com a finalidade de permitir entradas e saídas do mercado autômatas pelos investidores, beneficiando-se das ineficiências deste mercado. Desde então, segue disseminando-se entre *hedge funds* e investidores institucionais na visão de Vidyamurthy (2004), Figueiredo (2017) e Yoshikawa (2017).

Neste contexto, o presente artigo busca responder o seguinte problema: **Como os níveis de volatilidade dos ativos afetam a composição de portfólios de ações por *Pairs Trading* no mercado acionário brasileiro?**

Para a modelagem e estudo dos padrões entre os ativos, são utilizadas técnicas econométricas aplicadas a séries temporais com o auxílio de ferramentas de análise estatística que validem se seu comportamento é estacionário e, portanto, que não propaguem eventuais choques prejudiciais à modelagem do comportamento futuro. Para isso, uma opção é o modelo por cointegração, que analisa os movimentos conjuntos dos preços dos ativos no longo prazo, visando obter a distribuição estacionária dos resíduos da sua regressão, buscando retornos financeiros quando da reversão dos resíduos à média de longo prazo (Gujarati, 2011).

A vantagem principal do modelo é sua objetividade e generalidade da análise entre os pares de ações estudados, podendo ser utilizado para grande parte dos ativos, não importando outros fatores econômico-financeiros, como por exemplo, se os ativos analisados são do mesmo setor, se há boas perspectivas para os setores em que os ativos se inserem, ou ainda, se seu grau de endividamento está elevado. A cointegração não se refere aos movimentos conjuntos dos retornos, mas sim aos movimentos conjuntos dos preços dos ativos (ou taxas de câmbios). Se os *spreads* apresentam reversão à média, então os preços dos ativos estão ligados, no longo prazo, por uma tendência estocástica comum e, nesse caso, pode-se dizer que os preços são cointegrados (Alexander, 2005).

Para isso, este trabalho está dividido em mais quatro seções, além desta introdução. O próximo tópico trata do referencial teórico, abordando um survey sobre *pairs trading* por

cointegração, além de estudos relacionados à temática. No terceiro tópico, os procedimentos metodológicos, seguido dos resultados, considerações finais e referências.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Pairs Trading* Baseadas em Cointegração

Constantemente, agentes de mercado buscam uma estrutura ótima para a minimização das incertezas e da alocação de seus recursos, equilibrando as suas relações de risco com o retorno e, por consequência, uma utilidade esperada (Copeland, Weston & Shastri, 2005). Com isso, estes agentes buscam detectar oportunidades através do uso de séries históricas de ativos, que possam refletir as movimentações aleatórias de seus valores conforme o *feeling* de mercado e variáveis exógenas, como eventos político-econômicos (Cutler, Poterba & Summers, 1990) ou de indicadores fundamentais das companhias como preço por ação, lucro da ação, risco ativos-mercado, entre outros, a fim de margear sua volatilidade (Fortuna, 2008).

Neste contexto, a abordagem quantitativa por *pairs trading* com cointegração visa explorar a lógica em mercados financeiros fora de seu equilíbrio, culminando em estratégia de negociação ou investimento oriunda de operações *long-short* que trata da compra e venda de ativos, respectivamente sobrevalorizados e subvalorizados; mais especificamente, de pares de ativos financeiros com séries históricas e movimentações similares com o intuito de verificar desvios de curto prazo e a influência no equilíbrio de longo prazo de seus preços (Pucciarelli, 2014; Yoshikawa, 2017).

A aplicação do conceito de vetores cointegrados é iniciada nos estudos de Granger (1981), Granger e Weiss (1983), Granger e Engle (1985) e Engle-Granger (1987), que propuseram a concretização da conexão entre modelos de correção de erros e sistemas cointegrados, passando também pelos estudos de Johansen (1985) e adições por outros autores, com as propriedades do método dos mínimos quadrados na cointegração (Stock, 1987) e aspectos de tendências das variáveis em séries temporais (Stock, 1989; Davidson & Hall, 1991).

Essa última correção de erros permitiu observar que a série temporal no curto prazo se comporta de forma dinâmica e flexível, em outra perspectiva séries de longo prazo obedecem à algumas restrições para que o modelo em análise chegue a um equilíbrio regressivo satisfatório. Conforme Murray (1994) o conceito é probabilístico e as regressões que envolvem mudanças nas variáveis cointegradas devem apresentar esses níveis de defasagem, bem como as restrições de suas relações, corroborando o trabalho de Engle-Granger (1987). Entretanto, Philips (1989) efetua comparações ao modelo E-G propondo um novo mecanismo de correção de erros e sinalizando que sua análise tratava de parâmetros de cointegração lineares, divergindo, em alguns aspectos, do modelo E-G que trata de aspectos não-lineares dos parâmetros, e que, ao basear-se em modelo único, pode envolver vieses e perder a otimização de sua aplicabilidade.

Por outro lado, avanços de sua aplicação trazem estudos de estratégias *pairs trading* juntamente com a adoção da técnica da cointegração. Isso remonta o esforço de Lucas (1997), ao observar a geração de cenários a partir do comportamento de modelos baseados em séries temporais multivariadas. O autor buscou evidenciar a correlação dos cenários com resultados passados das séries temporais analisadas, trazendo a noção da correção de seus erros e descrevendo seus efeitos na tomada de decisões financeiras no curto e longo prazos.

Ademais, outra contribuição para o modelo cointegrado baseia-se em Alexander (1999), que traz a importância da técnica na diferenciação de resultados a partir do uso da correlação e dos modelos cointegrados. Ao destacar que, ao gerir o risco do portfólio relaciona-se a análise da correlação de seus retornos esperados, já quando envolve o preceito

de cointegração baseia-se em dados brutos de preço dos ativos e seus rendimentos, tendo esta última técnica ampliado atuação enquanto abordagem predominante na econometria de séries temporais principalmente com base nos estudos de Murray (1994), Hamilton (1994) e Hendry (1986, 1995).

Tendo em vista sua evolução em pesquisas de alcance mundial, o presente estudo está relacionado à aplicação de *pairs trading* com cointegração no mercado acionário brasileiro. Assim, as evidências deste artigo centram-se na observação do comportamento de ativos diante da estratégia *long-short* firmada com ativos negociados na Brasil, Bolsa, Balcão ([B]³), que justifiquem o modelo econométrico adotado, em termos de estimação e validação.

2.2 Estudos Correlatos

Na sequência, é possível identificar trabalhos recentes que explorem a produção científica sobre *pairs trading* por cointegração no mercado brasileiro, em segmentos, agrupamentos e períodos diferentes. Cabe ressaltar que ainda existe uma lacuna na literatura que analise a relação entre a volatilidade dos ativos e a composição de portfólios de ações a partir do *pairs trading*, visto que os trabalhos nacionais analisam, isoladamente, o comportamento de um destes atributos.

As estratégias de arbitragem estatística por *pairs trading* e suas generalizações dependem da construção de *spreads* estacionários com certo grau de previsibilidade. O trabalho de Caldeira e Moura (2013) aplicou testes de cointegração para identificar ativos para serem usados em estratégias de *pairs trading* com dados diários dos 50 ativos mais líquidos da Bovespa entre janeiro de 2005 a outubro de 2012. A ideia dos autores foi a de estimar o equilíbrio de longo prazo e de modelar os resíduos resultantes, com os pares de ações selecionados baseados em um indicador de lucratividade para compor um portfólio de pares. A análise empírica mostrou que a estratégia proposta obteve excessos de retorno da ordem de 16,38% ao ano, índice de Sharpe de 1,34 e uma baixa correlação com o Ibovespa. Além disso, os autores aplicaram para a estratégia dos pares a cointegração com a máxima estacionaridade e a mínima variância *tracking error*, percebendo descolamentos e aderências em relação ao *benchmark*, sendo esta última com maior incidência auferindo baixo nível de volatilidade.

Portuschka e Perlin (2015) buscaram analisar o desempenho da estratégia de pares em diferentes frequências de dados no mercado acionário brasileiro, estendendo o leque de frequências e entrando no universo intradiário com frequências de amostragem em 1, 5, 15, 30, 60 minutos e diários, no período entre 2008 e 2011. Para compor a base de dados, foram utilizados os 20 ativos com maior número de contratos negociados no período, aplicando a técnica de períodos de treinamento e de negociação, comparando os índices de informação da estratégia de pares nas diferentes frequências de dados. Os resultados da pesquisa confirmaram a hipótese primária de que quanto maior a frequência de amostragem, maiores as evidências de ineficiência de mercado.

Sampaio (2016) centrou suas pesquisas em um método simples centrado em duas fases principais, a primeira é a escolha dos pares no horizonte de 12 meses e a segunda, a estratégia de investimento nos pares em um ciclo mensal, com repetições sucessivas posteriores desta até o uso em sua totalidade dos dados do estudo, coletados na Economática - preços de fechamento e volume diário de todos os ativos negociados na Ibovespa (50 ações com maior volume, excluindo o critério da setorização em sua análise) entre 2006 (período de teste) e 2015. Os resultados com os retornos entre os anos de 2007 e 2015 apresentando um total de 108 janelas mensais estudadas, das quais, de um total de 1.225 pares, 130 deles apresentaram cointegração, delineando um lucro líquido acumulado de 46,3% no período analisado. O autor destaca os resultados encontrados em relação ao mercado, entretanto o autor observa que se

tornam desinteressantes os retornos esperados diante de outros fatores como movimentos inflacionários e juros do período.

Oliveira (2017) buscou verificar a *performance* do método de distância da estratégia de *pairs trading* no mercado brasileiro, 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, fazendo-se necessário, então, entender seu comportamento nas crises. A metodologia utilizada foi extraída dos artigos de Gatev, Goetzmann e Rouwenhorst (2006) e Rad, Low e Faff (2016) com apenas uma modificação no critério de encerramento das posições. Como resultado, a estratégia estudada não apresentou perdas estatisticamente significantes em períodos de crise.

Santos e Pessoa (2017) investigaram o desempenho do *pairs trading* utilizando os testes de cointegração para ações negociadas na Bovespa no período de 2003 a 2014. Foram testadas diferentes bandas de abertura, fechamento e *stop*. A partir desses resultados, separaram-se três estratégias diferentes para a análise de desempenho. As estratégias 1, 2 e 3 obtiveram um retorno líquido médio de 5,24%, 5,1% e 8,29% a.a. e Índice de Sharpe (IS) anualizado médio de 0,33, 0,31 e 0,54, respectivamente. Com isso, demonstrou-se que a *performance* da carteira composta pela estratégia 1 foi superior às demais, confirmando a hipótese do desvio ótimo de Vidyamurthy (2004) e reforçando a importância do uso da cointegração em estratégias *pairs trading*.

3 METODOLOGIA

3.1 Amostra da Pesquisa

Este artigo consiste, resumidamente, em obter os preços de fechamentos da quantidade inicial proposta dos ativos no período de janeiro de 2016 até dezembro de 2018, realizando a análise dos pares de acordo com os critérios de cointegração para cada dia do intervalo proposto, selecionando os pares cointegrados e observando seu comportamento posterior ao dia de análise, na forma de uma simulação histórica (*backtesting*), realizando a aquisição dos dados para posterior demonstração dos resultados na forma de diagramas para cada variação proposta do modelo.

Tabela 1

Ativos Analisados

| | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| ABEV3 | BRAP4 | CMIG4 | ELET3 | GFS3 | KROT3 | ODPV3 | RENT3 | TIMP3 |
| ALPA4 | BRFS3 | CPFE3 | ELET6 | GGBR4 | LAME4 | PCAR4 | SANB11 | TOTS3 |
| ALUP11 | BRKM5 | CPLE6 | ELPL3 | GOAU4 | LIGT3 | PETR3 | SAPR4 | TRPL4 |
| ARZZ3 | BRML3 | CSAN3 | EMBR3 | GOLL4 | LREN3 | PETR4 | SBSP3 | UGPA3 |
| BBAS3 | BRSR6 | CSNA3 | ENBR3 | HGTX3 | MDIA3 | POMO4 | SEER3 | USIM3 |
| BBDC3 | BTOW3 | CVCB3 | EQTL3 | HYPE3 | MRFG3 | PSSA3 | SMLS3 | USIM5 |
| BBDC4 | B3SA3 | CYRE3 | ESTC3 | ITSA4 | MRVE3 | QUAL3 | SULA11 | VALE3 |
| BBSE3 | CCRO3 | DTEX3 | EZTC3 | ITUB4 | MULT3 | RADL3 | SUZB3 | VIVT4 |
| BEEF3 | CESP6 | ECOR3 | FIBR3 | JBSS3 | MYPK3 | RAIL3 | TAEE11 | VLID3 |
| BOVA11 | CIEL3 | EGIE3 | FLRY3 | KLBN11 | NATU3 | RAPT4 | TIET11 | WEGE3 |

Serão utilizadas as cotações históricas diárias dos preços de fechamento dos ativos, obtidas através de arquivos disponibilizados no site da Brasil Bolsa Balcão [B]³, ajustados os proventos, agrupamentos e desdobramentos ocorridos no passado. Todos os cálculos serão

realizados com o *Microsoft Excel* com o auxílio de algoritmos em linguagem VBA, e ainda, em código em linguagem *Python*, para a coleta e tratamento dos dados, estudo dos critérios estatísticos e a avaliação de entrada e saída das posições, para cada par de ativos avaliado.

A escolha dos ativos será definida com base da média de liquidez diária apresentada no final do intervalo, propondo a escolha dos noventa ativos mais líquidos, que possuam dados históricos suficientes para a avaliação proposta. A liquidez diária é importante para uma estratégia de *pairs trading*, dado que a falta representa um risco elevado para as operações (Pontuschka & Perlin, 2015; Santos & Pessoa, 2017).

3.2 Análise dos Pares

Em sequência, os ativos serão avaliados aos pares, sem restrições relacionadas aos ativos de mesmo setor, serão avaliados todos os pares possíveis, com amostras dos preços de fechamento dos 252 dias anteriores, incluindo o dia estudado, para a estimação dos parâmetros de uma regressão linear múltipla por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para séries temporais, conforme a Equação 1.

$$ativo_dep_{it} = \beta_0 + \beta_1 ativo_ind_{it} + \beta_2 temp_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Em que: $ativo_dep_{it}$ são os preços do ativo dependente; $ativo_ind_{it}$ são os preços do ativo independente; β_1 o coeficiente de *hedge*; β_2 , o coeficiente temporal e ε_{it} o resíduo que será analisado da regressão.

A composição das equações para cada preço de fechamento diário para o período de 252 pregões forma matrizes dos valores de Y_i , X_i , β_i e dos resíduos ε_i , conforme a Equação 2.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_{252} \end{bmatrix}}_Y = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & X_{1,1} & t_1 \\ 1 & X_{1,2} & t_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{1,252} & t_{252} \end{bmatrix}}_X \times \underbrace{\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix}}_B + \underbrace{\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_{252} \end{bmatrix}}_{\varepsilon_{252}} \quad (2)$$

Após a multiplicação matricial seguinte, podemos estimar os valores da matriz β que resultam nos coeficientes β_1 e β_2 , utilizando-os para a estimação dos resíduos e realização dos testes de estacionariedade, em que $\sum_{i=1}^{252} \varepsilon_i^2$:

$$B = (X'X)^{-1}(X'Y) = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

A contagem da quantidade de pares será dada pelo arranjo simples da quantidade de ativos, tendo em vista que em razão dos coeficientes mudarem quando alterada a ordem dos ativos, serão consideradas como operações distintas, por exemplo, o par ITUB4 (Itaú Unibanco) e VALE3 (Vale S/A) terá coeficientes diferentes de VALE3 e ITUB4. Logo, para os noventa ativos foram analisados 8.010 pares. Identificados os pares, e calculados seus desempenhos, serão avaliados por estatísticas paramétricas ou não paramétricas para identificação das possíveis relações entre seus retornos e a volatilidade calculada sobre os desvios padrões dos retornos diários para 20, 60, 120 e 252 períodos em formato anualizado, para os ativos dependentes e independentes.

3.3 Modelagem de Séries Temporais e Critérios para Abertura e Fechamento das Posições

Uma série estacionária provoca um efeito temporário, mas que desaparece gradualmente, sem afetar uma série em um período tão longo de tempo. Entretanto, quando este choque não é rapidamente dissipado, alguns testes e transformações podem ser aplicados com a finalidade de verificar a presença destes componentes, como a presença de raízes unitárias ou tendência estocástica (Gujarati, 2011). Logo, a constatação de estacionariedade em séries temporais é similar a testar a existência de uma raiz unitária. Caso a série seja estacionária em nível, é integrada de ordem zero, ou I (0). Caso seja preciso transformar a série para estacioná-la pela primeira ordem, a série torna-se integrada de ordem um, ou I (1).

Para isso, foram aplicados nesta pesquisa, os testes estatísticos Dickey-Fuller Aumentado ou ADF (Dickey & Fuller, 1981), Phillips-Perron (Phillips & Perron, 1988) e KPSS (Kwiatkowski, Phillips, Schmidt & Shin, 1992), convencionalmente indicados para verificar a estacionariedade em séries temporais, destacados durante esta análise. A hipótese nula do teste ADF é de que a série temporal tem uma raiz unitária, logo não estacionária. Com isso, a um nível de 5% de significância, o *p-valor* deve rejeitar a hipótese nula do teste ADF, aceitando a hipótese alternativa de estacionariedade da série analisada.

Em complemento, o teste Phillips-Perron também é utilizado para verificar a existência de raiz unitária em séries temporais. O teste PP é semelhante ao teste ADF, mas esse teste trata da correlação serial nos termos de erro sem adicionar os termos de diferença defasados (Gujarati, 2011). A hipótese nula do teste é que a série tem raiz unitária, logo, não estacionária, assim como no teste ADF. Por fim, o terceiro teste proposto, o KPSS, é uma alternativa aos testes ADF e PP uma vez que a sua hipótese nula é a de estacionariedade, não existindo, portanto, raiz unitária na série temporal.

Na sequência, como critério para realização das operações, será verificado se o valor do resíduo do observado no dia estudado excede o valor calculado como banda de desvio (σ) para $\pm 2\sigma$ (mais ou menos duas vezes o desvio-padrão), somado e subtraído da média dos resíduos. Caso o resíduo supere o limite superior ou inferior dos desvios-padrões estudados, este será considerado como um sinal de entrada na operação do par. Se superado o limite da banda superior à média, o ativo dependente (Y) será vendido e, conseqüentemente, comprado o ativo independente (X), na proporção indicada pelo parâmetro do coeficiente linear beta (β_1) da regressão de período 252. Cabe ressaltar que pares com valores negativos do coeficiente linear β_1 não serão considerados.

Já a margem operacional será calculada com base nos parâmetros atuais de mercado com fator de 60% para o volume financeiro do ativo comprado e 140% para o volume financeiro do ativo vendido. Todas as operações que requerem, ou não, margem serão consideradas para formação das carteiras. Os critérios considerados de saída, em proporção do desvio-padrão dos resíduos, inicialmente, serão de 0σ (ou igual à média dos resíduos). O ponto de saída será dado quando, no decorrer dos dias seguintes ao sinal de entrada da operação, o valor do resíduo superar ou igualar a proporção do desvio-padrão definido para a saída.

3.4 Formação das Carteiras e Avaliação dos Resultados

Em sequência, será avaliada a relação estatística entre os retornos dos pares e o nível de volatilidade propondo a formação de carteiras com critério de escolha baseado na volatilidade, sendo avaliadas e ajustadas diariamente. Propõe-se a restrição de exposição máxima em um único ativo do par, limitada em no máximo 80% do valor financeiro total dos

dois ativos, não podendo ultrapassar essa proporção, evitando a concentração demasiada em um único ativo do par mantendo o equilíbrio do *hedge*.

Outras restrições podem ser avaliadas, visando a maior diversificação da carteira, podendo ser limitada a exposição em um único ativo como proporção ao total da carteira. O desempenho da carteira será avaliado por seu resultado bruto, risco, índice de Sharpe, correlação e ao desempenho do Ibovespa. O Índice de Sharpe (IS), ou retorno por risco, será calculado conforme a Equação 4.

$$IS = \frac{(R_c - R_f)}{\sigma_c} \quad (4)$$

Em que: R_c será o retorno da carteira, R_f será o retorno do CDI para o período, dividido pelo desvio-padrão ou risco.

Os resultados serão organizados na forma de tabelas e diagramas, observando o comportamento de cada operação realizada individualmente. O retorno bruto individual de cada par será considerado como a soma dos resultados da parte comprada e vendida da posição. Além disso, será demonstrado o prazo decorrido da operação, resultados da carteira, rentabilidade comparada à carteira de mercado, riscos e correlação dos retornos com os observados do mercado. Por fim, serão avaliados analiticamente de forma individual e combinada os critérios que possibilitem a obtenção de resultados superiores, para o período proposto de estudo, do modelo de *pairs trading* por cointegração estatística no mercado acionário brasileiro.

4 RESULTADOS

Foram analisados 5.927.400 pares em *back-testing* durante todo o período proposto de janeiro de 2016 a dezembro de 2018, ou ainda, 8.010 pares diários durante 740 pregões. A condição necessária de cointegração foi obtida pelo teste ADF identificando 126.350 pares cointegrados em todo o período de análise. A média diária da quantidade de pares cointegrados foi de 139 sinais variando para no máximo 410 e no mínimo de 1 par ao longo do período.

Visando o melhor equilíbrio do *hedge*, do total de sinais cointegrados foram desconsiderados para efeito das análises estatísticas e da formação das carteiras, os pares que apresentavam relação financeira entre os ativos superiores a cinco vezes – calculado pela razão entre o valor financeiro bruto da posição do ativo dependente, sobre valor financeiro bruto da posição do ativo independente para cada par e respectivamente, do independente sobre o dependente. Também foram desconsiderados os pares com coeficiente β_1 inferiores a 0,05.

Analisou-se a relação entre os prazos operacionais decorridos e os retornos observados pelos pares, mensurado pelo teste de correlação de *Spearman* com $\rho = -0,246$, $p < 0,001$, $\alpha = 0,01$. Os retornos dos pares apresentaram uma leve correlação negativa significativa, ou seja, quanto maior o prazo operacional, menores os retornos observados. O desempenho dos pares no *back-testing* também foi mensurado com a definição de um critério de *stop* pelo tempo operacional decorrido desde início de cada operação, definido pelo valor observado do terceiro quartil dos prazos inicialmente obtidos sem critérios de *stop* de 69 dias.

Também foi adotado um critério de *stop* pelas variações do *spread* dos resíduos da regressão, definido em quatro desvios padrões (4σ) da média, visando minimizar os movimentos contrários ao sinal operacional do modelo que, eventualmente, por choques

adversos nos preços modificaram a relação estatística observada historicamente no período de regressão adotado de 252 dias anteriores ao dia avaliado.

Tabela 2

Estatísticas Descritivas do *Back-Testing* dos Pares Cointegrados

| Estatísticas | Resultado Bruto (%) (Sem <i>Stop</i>) | Resultado Bruto (%) (Com <i>Stop</i> no Tempo) | Resultado Bruto (%) (Com <i>Stop</i> no <i>Spread</i>) |
|-----------------|---|---|--|
| Média | -0,0112 | -0,0073 | -0,0026 |
| Mediana | 0,0427 | 0,0405 | 0,0360 |
| Desvio-Padrão | 0,2183 | 0,1789 | 0,1566 |
| Mínimo | -2,7492 | -2,3326 | -2,5123 |
| Máximo | 1,2043 | 1,2043 | 1,2043 |
| KS | 0,186 | 0,153 | 0,112 |
| <i>p</i> -valor | < 0,001 | < 0,001 | < 0,001 |

Nota. Legenda: LI: Limite Inferior; LS: Limite Superior; KS: Teste de Normalidade de *Kolmogorov-Smirnov*.

Os retornos percentuais das operações apresentaram distribuição não normal, leptocúrtica com curtose > 15,64 (elevada), conforme Tabela 2. Os testes não paramétricos de Mann-Whitney U apontaram diferenças significativas entre os retornos observados das operações com volatilidade anualizada (20 períodos) do ativo dependente superior à mediana das volatilidades diárias ($Z = -18,509$, $p < 0,001$). Na comparação dos prazos operacionais decorridos entre os pares de maior volatilidade do ativo dependente, com diferença significativamente maior dos prazos operacionais para os ativos dependentes com volatilidade maior que a mediana dos ativos em um mesmo dia ($Z = -5,435$, $p < 0,001$).

Dessa forma, avaliou-se o desempenho entre uma carteira composta aleatoriamente por qualquer dos pares sem restrições e outra carteira composta por pares que apresentavam volatilidade anualizada (20 períodos) do ativo dependente, superior à mediana das volatilidades dos demais pares para o dia da operação.

Tabela 3

Desempenho das Carteiras

| | Retornos Acumulados | Desvio Padrão | Índice de Sharpe |
|--------------------------------------|---------------------|---------------|------------------|
| Carteira com volatilidade > Medianas | 85,20% | 0,0430 | 12,08 |
| Carteira Aleatória | 0,66% | 0,0424 | -7,69 |
| Ibovespa | 108,56% | 0,0144 | 52,42 |
| CDI | 33,26% | | |

A carteira proposta com critério de volatilidade superior às medianas diárias apresentou, ao final do período, desempenho superior ao da carteira de escolha aleatória dos pares de ativos, obtendo um elevado Índice de Sharpe de 12,08 contra -7,69 da carteira aleatória. Também com maior número de operações 154, contra 107 na carteira aleatória. Contudo, as médias dos retornos observados entre as carteiras não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (M-W: $Z = -0,522$, $p > 0,60$ e K-S: $Z = 0,764$, $p > 0,60$). Na Figura 1, observa-se o desempenho das carteiras propostas e o Ibovespa.

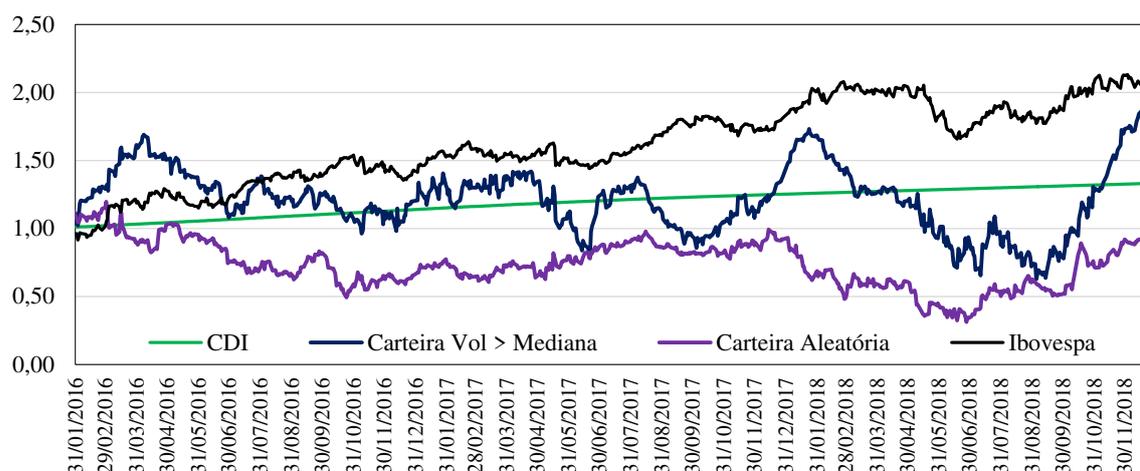


Figura 1. Desempenho das Carteiras vs. Ibovespa e CDI

As carteiras propostas apresentaram resultados inferiores ao Ibovespa no período estudado. Contudo, as carteiras apresentaram baixa correlação de Pearson com os retornos do Ibovespa para períodos de 100 dias, característica das operações de *pairs trading*, conforme Figura 2.

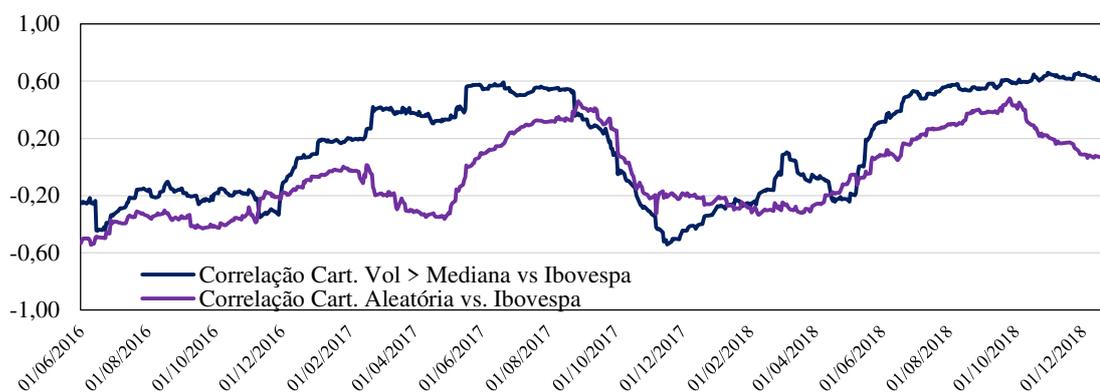


Figura 2. Correlação de Pearson (100 períodos) entre Retorno das Carteiras vs. Ibovespa.

Durante a montagem da carteira com maiores volatilidades, foram considerados os pares com volatilidades superiores às medianas de 20 períodos ao longo do período por apresentarem resposta mais rápida às variações de mercado. Na Figura 3 são demonstradas as medianas diárias dos ativos dependentes, mensuradas de acordo às volatilidades de 20, 60, 120 e 252 períodos.

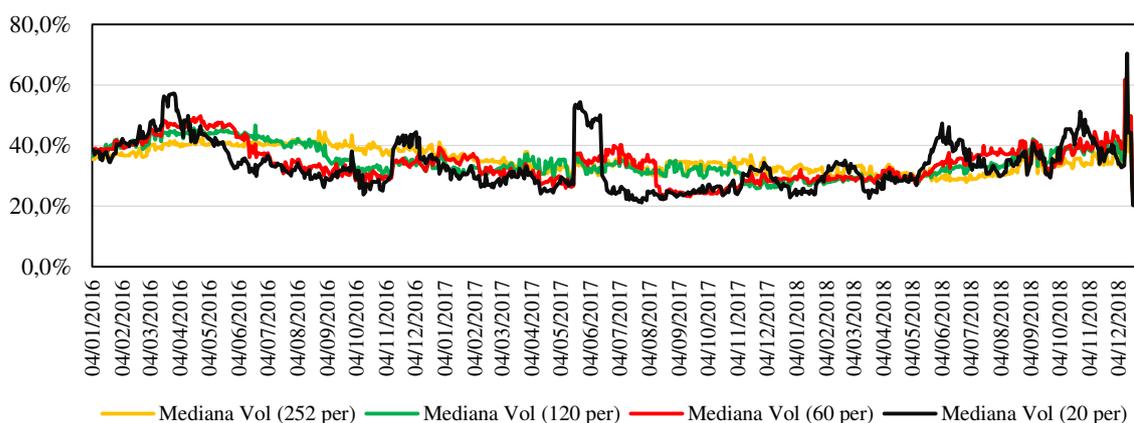


Figura 3. Medianas da Volatilidade dos Ativos Dependentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo avaliar os efeitos da volatilidade dos ativos sobre o desempenho das operações de arbitragem estatística por *pairs trading*, propondo a composição de uma carteira utilizando a volatilidade como critério de decisão. Realizou um amplo *back-testing* das 5.927.400 combinações de pares ao longo do período de estudo, identificando as relações de cointegração das séries de preços, de acordo com os pressupostos do modelo estatístico de arbitragem por *pairs trading* com ações.

Os resultados encontrados indicaram que a carteira composta por ativos de maiores volatilidades obteve resultado de 85,2% no período, ou ainda, 22,8% anualizados, superando assim, a carteira composta por pares aleatórios sem a definição de critério por volatilidade. Dessa forma, corroborou a análise realizada de significância estatística dessa relação, demonstrando que quanto maior a volatilidade, menores os prazos operacionais e maiores os retornos observados. A adoção de critérios de *stop* com base no prazo operacional e no spread dos resíduos, aumentou a média dos retornos da amostra dos pares utilizada para a formação das carteiras.

O modelo de arbitragem por *pairs trading* propicia uma variedade de estratégias que visam obter de retornos neutros em relação aos retornos de mercado, com uma proposta objetiva da análise dos critérios de decisão para escolha dos ativos e formação das carteiras que pode ser replicada em qualquer período de tempo. Constatamos resultados que ressaltam a característica de baixa correlação dos retornos das carteiras e do índice de mercado, na maior parte do período proposto.

A aplicação do modelo de arbitragem *ad hoc* sem análises complementares das relações de equilíbrio de longo prazo dos ativos avaliados, não garantem resultados diferenciados da média do mercado. Como sugestão para trabalhos futuros é fundamental analisar os aspectos que afetam o equilíbrio estatístico do modelo visando mitigar os riscos de mercado da estratégia.

REFERÊNCIAS

Alexander, C. (1999). Optimal hedging using cointegration. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, 2039–2058.

- Alexander, C. (2005). *Modelos de Mercado: Um Guia para a Análise de Informações Financeiras*. Bolsa de Mercadorias & Futuros. São Paulo: Saraiva.
- Caldeira, J. F.; Moura, G. V. (2013). Selection of a Portfolio of Pairs Based on Cointegration: A Statistical Arbitrage Strategy. *Brazilian Review of Finance*, 11 (1), 49-80.
- Copeland, T. E.; Weston, J. F.; Shastri, K. (2005) *Financial Theory and Corporate Policy*. Nova Iorque: Addison-Wesley, 2005.
- Cutler, D. M.; Porterba, J. M; Summers, L. H. (1990). *Speculatyve Dynamics*. National Bureau of Economic Research. Working paper nº. 3242, Massachusetts, 1990.
- Davidson, J.; Hall, S. (1991). Cointegration in Recursive Systems. *Economic Journal, Royal Economic Society*, 101 (405), 239-251.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427-431.
- Engle, R.F. & Granger, C.W.J. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation and testing. *Econometrica*, 55, 251-276.
- Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383-417.
- Fama, E. F. (1998). Market Efficiency, Long-Term Returns, and Behavioral Finance. *Journal of Financial Economics*, 49(3), 283-306.
- Figueiredo, L. F. C. C (2017). *Pairs Trading: aplicação da distância mínima*. Portugal: Católica Porto Business School, Universidade Católica Portuguesa.
- Fortuna, E. (2008). *Mercado Financeiro: produtos e serviços*. São Paulo: Qualitymark.
- Granger, C. J. (1981). Some properties of time series data and their use in econometric model specification. *Journal of Econometrics*, 16, 121-130.
- Granger, C. W. J. & Weiss, A.A. (1983) *Time series analysis of error correction models*. In: Karlin, S., Amemiya, T. and Goodman, L.A., Eds., *Studies in Econometrics, Time Series, and Multivariate Statistics*, Academic Press, New York, 255-278.
- Granger, C.W.J. & Engle, R.F. (1985). *Dynamic model specification with equilibrium constraints*. Mimeo UCSD.
- Gatev E., Goetzmann W. N., & Rouwenhorst K. G. (2006). Pairs trading: performance of a relative value arbitrage rule. *The Review of Financial Studies*, 19(3), 797-827.
- Gujarati, D. N. (2011). *Econometria Básica*. Porto Alegre: AMGH.
- Hamilton, J. D. (1994). *Time Series Analysis*, Princeton University Press, Princeton.

- Hendry, D. F. (1995). *Dynamic Econometrics: Advanced Texts in Econometrics*. Great Britain: Oxford University Press.
- Hendry, D. F. (1986). *Econometric Modelling with Cointegrated Variables: An Overview*. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 48, 3.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-178.
- Lucas, A. (1997). Strategic and tactical asset allocation and the effect of long-run equilibrium relations. Serie Research Memoranda 42. VU University Amsterdam, Faculty of Economics, Business Administration and Econometrics
- Murray, M. (1994). *A Drunk and Her Dog: An Illustration of Cointegration and Error Correction*. American Statistician – Amer Statist. 48. 37-39.
- Oliveira, A. G. de. (2017). *Análise do efeito de crises sobre estratégias de pairs trading no Brasil* (Dissertação de Mestrado em Finanças e Economia Empresarial). Escola de Pós-Graduação em Economia, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Phillips, P. C., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. *Biometrika*, 75(2), 335-346.
- Phillips, P. C. (1989). *Optimal Inference in Cointegrated Systems*. Cowles Foundation for Research in Economics. Discussion Paper No. 866 R. New Haven, Yale University.
- Pucciarelli, A. J. (2014). *Estratégia de cointegração dinâmica empírica para arbitragem estatística e trading*. (Dissertação de Mestrado). São Paulo: FGV.
- Rad, H., Low, R. K. Y., & Faff, R. (2016). The profitability of pairs trading strategies: distance, cointegration and copula methods. *Quantitative Finance*, 16(10), 1541-1558.
- Sampaio, J. P. P. A (2016). *Pairs Trading: Aplicação no Mercado de Ações Brasileiro*. (Monografia). Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Santos, J. F. C., & de Sales Pessoa, M. (2017). Arbitragem Estatística entre Dois Ativos: um Estudo da Abordagem de Cointegração no Brasil entre 2003 e 2014. *Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace*, 8(2), 124-139.
- Stock, J. H (1987). *Asymptotic properties of least squares estimators of cointegrating vectors*. Econometrica, Vol. 55, No. 5, set., 1035-1056.
- Yoshikawa, D (2017). *An Entropic Approach for Pair Trading*. Department of Business Administration, Hokkai-Gakuen University. *Entropy*, 19, 320.
- Vidyamurthy, G. (2004). *Pairs Trading, Quantitative Methods and Analysis*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.