

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS-MG

LUÍS GUSTAVO GUTIERREZ GEBIN

ANÁLISE PRÁTICA DA ARBITRAGEM ESTATÍSTICA COMPARADA NA
CARTEIRA DE INVESTIMENTO DOS FUNDOS DE PENSÃO PREVI E PETROS

VARGINHA/MG

2019

LUÍS GUSTAVO GUTIERREZ GEBIN

ANÁLISE PRÁTICA DA ARBITRAGEM ESTATÍSTICA COMPARADA NA
CARTEIRA DE INVESTIMENTO DOS FUNDOS DE PENSÃO PREVI E PETROS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para
obtenção do título de bacharel em Ciências
Atuariais pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Leonardo Costa

VARGINHA/MG

2019

LUÍS GUSTAVO GUTIERREZ GEBIN

ANÁLISE PRÁTICA DA ARBITRAGEM ESTATÍSTICA COMPARADA NA
CARTEIRA DE INVESTIMENTO DOS FUNDOS DE PENSÃO PREVI E PETROS

A banca examinadora abaixo-assinada aprova o trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do certificado de Conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Atuariais pela Universidade Federal de Alfenas.
Aprovado em:

Prof.:

Assinatura:

Instituição:

Prof.:

Assinatura:

Instituição:

Prof.:

Assinatura:

Instituição:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Camila Bertholdo, minha parceira. Com você os momentos bons são intensificados e os ruins amenizados. Mais uma conquista nossa de tantas outras que estão por vir.

Agradeço também ao meu orientador, Leonardo Henrique Costa, por, além da orientação, ter me tranquilizado em certos momentos.

E, por fim, agradeço aos meu pais, Luciano e Cláudia, pelo suporte por tantos anos.

RESUMO

Entidades Fechadas de Previdência Complementar, também conhecidos como fundos de pensão, são supervisionadas pela PREVIC e apresentam diversos beneficiários ao longo de seus planos. Elas apresentam políticas internas para compor sua carteira de investimento, para assim, bater a meta atuarial. Dentro destes possíveis investimentos, a renda variável passa a ser uma alternativa válida. Assim, o mercado de ações surge como grande fonte de investimento. Porém, é sabido que tais investimentos não estão isentos de riscos e, conseqüentemente, a análise de tal mercado se torna imprescindível para que exista um alto retorno e minimize as perdas com este tipo de operação. Uma das alternativas para se trabalhar neste mercado com um alto índice de segurança é a estratégia *pairs trading*, ou arbitragem estatística. Esta técnica estatística minimiza os riscos com as variações e propõem a obtenção do lucro a partir das discrepâncias que surgem entre dois preços de ativos que possuam alta correlação linear entre eles. Visto isso, o objetivo é adaptar uma estratégia *pairs trading* no mercado acionário brasileiro, e constatar se tal metodologia seria capaz de atender as expectativas dos fundos de pensão em relação a meta atuarial. Com os objetivos alcançados, além de, em média, o retorno ter sido maior que a meta, cerca de 13%, a metodologia também apresentou baixa volatilidade, confirmando assim, o baixo risco desta estratégia.

Palavras-chave: Arbitragem estatística, *Pairs trading*, Fundos de pensão, Mercado acionário brasileiro.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	2
2	JUSTIFICATIVA	4
3	OBJETIVOS	5
3.1	Objetivo Geral	5
3.2	Objetivos Específicos	5
4	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	6
4.1.	Sistema Previdenciário no Brasil	6
4.2.	Fundos De Pensão	8
4.2.1.	PETROS- FUNDAÇÃO PETROBRÁS DE SEGURIDADE SOCIAL	10
4.2.2.	PREVI - CAIXA DE PREVIDÊNCIA DOS FUNCIONÁRIOS DO BANCO DO BRASIL	11
4.3.	Mercado De Ações	12
4.4.	Séries Temporais	14
4.5.	Pairs Trading - Arbitragem Estatística	15
4.2.1	APROXIMAÇÃO PELA COINTEGRAÇÃO	17
5	MATERIAL E MÉTODO	19
5.1	Material	19
5.2	Método	19
5.3	Métrica de avaliação	22
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
6.1	Resultados Individuais	23
6.2	Resultados Gerais	61
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

Fundos de pensão são entidades fechadas de previdência complementar, do qual não possuem fins lucrativos, e são oferecidas de acordo com o vínculo empregatício. Dentro destes fundos, existem diferentes formas de contribuição e resgate destes benefícios. Em geral, são separadas em três: Contribuição definida, Benefício definido e Contribuição variável. No benefício definido (BD), o participante já sabe qual será o seu benefício de aposentadoria no momento da adesão, por exemplo, a média dos últimos 12 salários. Na contribuição definida (CD), os benefícios são acumulados e mensurados devido as contribuições realizadas ao plano, mais a remuneração alcançada dos investimentos, o que forma o saldo da conta dos participantes. A Contribuição variável engloba a junção do CD e BD.

Estes fundos possuem uma meta atuarial. A meta atuarial corresponde o que deve ser à rentabilidade mínima necessária que os investimentos precisam atingir para o cumprimento das obrigações futuras do plano. Com isso, é importante que exista uma estrutura de governança bem estruturada para cumprir tal meta.

Estes investimentos precisam ser aprovados e publicados em uma síntese de políticas de investimento, na qual será composta a carteira de investimento do fundo. Ou seja, cada fundo de pensão possui sua política, além de existir diversas regras pré-estabelecidas pela PREVIC, a Superintendência Nacional de Previdência Complementar. Porém, é sabido que grande parcela destes investimentos se encontra no mercado de acionário brasileiro. Assim, além de garantir uma segurança financeira para o participante ao se aposentar, estes volumes de ativos financeiros dos fundos de pensão, segundo a Associação Brasileira das Entidades Fechadas de Previdência Complementar-ABRAAP (2019), também representam parte significativa do PIB brasileiro, aproximadamente 17%. Comparados com países como a Inglaterra, este número parece pouco significativo, visto que a representação inglesa chega a patamares de 78% de participação. Com isso, entende-se que o potencial deste segmento no Brasil ainda tem muito a evoluir e uma das alternativas para aumentar tal potencial, é aumentar a confiança destes planos quanto alcançar a meta atuarial, para garantir assim seus compromissos futuros.

Porém, a grande preocupação quanto a estes investimentos está nas desvalorizações e oscilações no preço dos ativos. Com base nisso, as análises dos

investimentos se tornam imprescindíveis para que exista um alto retorno e minimize as perdas com este tipo de operação.

Para minimizar tais riscos, métodos computacionais inteligentes vêm sendo elaborados para previsão dos preços e da dinâmica do mercado acionário, tais como técnicas de aprendizado, regressão e lógica fuzzy, entre outros. Porém, segundo Thomaidis, Kondakis e Dounias (2006) e Shadbolt e Taylor (2002), quando se trata de dados temporais, a previsibilidade se torna mais precisa quando se utiliza um modelo de combinação de preços de ativos de séries temporais individuais.

Um método utilizado com muito sucesso na obtenção de lucro no mercado de ações é o da arbitragem estatística, ou *Pairs Trading*. Este método é um modelo estatístico que faz com que os riscos de prejuízos se aproximem de zero (THOMAIDIS; KONDAKIS; DOUNIAS, 2006). A mesma propõe, de acordo com Thomaidis e Kondakis (2006), a obtenção do lucro a partir das discrepâncias que surgem no diferencial do preço de pares de ações, caso estas ações possuam uma correlação linear positiva entre as mesmas. Para encontrar tais pares, existem vários modelos na literatura, sendo que a utilização da aproximação por cointegração e a de distância são mais utilizadas.

O trabalho está estruturado conforme a segue: na seção 2 a Justificativa, na seção 3 os Objetivos, na seção 4 apresentam-se as referências bibliográficas nos quais são abordados os temas acerca do Sistema previdenciário brasileiro, Mercado de ações, Séries Temporais, *Pairs Trading* - Arbitragem Estatística e Aprendizagem em Máquina, em seguida, a metodologia e os resultados nas seções 5 e 6. Por fim, na seção 7, serão apresentadas as considerações finais acerca do método.

2 JUSTIFICATIVA

O trabalho pode ser justificado por três segmentos: acadêmico, econômico e social. Pelo âmbito acadêmico, por ser um tema pouco explorado no Brasil e que merece uma relevância maior em seu estudo, visto a importância do mercado para o desenvolvimento econômico e social do país.

Quanto ao ponto de vista social, os fundos de pensão englobam milhares de pessoas que contam com a complementação de renda pra aposentadoria, para assim, continuar com uma renda próxima ao de trabalho, e exercer sua cidadania.

Por fim, quanto ao panorama econômico, operações com ações na Bolsa de Valores, independente de qual operação, giram altos valores representativos por meio destas. Conseguir prever os movimentos do mercado, ou até mesmo aproximar seus movimentos futuros, pode fazer com que os fundos de pensão atinjam as metas atuariais. Acerca do mercado de capitais no Brasil os exercícios de opções (compra e venda) sobre as ações da B3/Ibovespa movimentam cerca de R\$ 6,8 bilhões por dia. Complementando a importância deste mercado, Bekaert et al. (1995) relacionam diretamente o desenvolvimento da bolsa de valores local com a melhora dos índices macroeconômicos.

3 OBJETIVOS

Na Seção 3.1 aborda acerca do objetivo geral do trabalho, enquanto que na Seção 3.2 os objetivos específicos, objetivos que foram construídos para alcançar o objetivo principal, será abordado.

3.1 Objetivo Geral

Adaptar a metodologia *Pairs trading* no mercado acionário brasileiro, e entender se a metodologia é uma alternativa viável para os fundos de pensão atingirem a suas metas atuariais.

3.2 Objetivos Específicos

- Estudar conceitos acerca do Mercado de Ações;
- Testar e analisar o funcionamento do algoritmo de arbitragem estatística com diferentes pares de ações;
- Analisar a estrutura previdenciária brasileira;
- Abordar acerca da relação dos fundos de pensão com o PIB nacional.

4 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

O trabalho apresenta no referencial teórico cinco subseções para o entendimento do mesmo. Na primeira, é destacado acerca da estrutura previdenciária brasileira. A segunda etapa destaca-se sobre as entidades fechadas de previdência complementar, apresentando os dois maiores fundos do Brasil. A terceira etapa aponta as principais definições a respeito do mercado de ações, visto que, como se trata da abordagem estatística que opera no referido mercado, é necessária a conscientização de tais definições. Em seguida, como ações são variáveis indexadas no tempo, apresenta-se um breve referencial sobre séries temporais. Por fim, na última subseção discorre-se em relação ao método *Pairs Trading* e duas subseções neste tópico, nas quais apontam os principais métodos para a escolha dos pares.

4.1. Sistema Previdenciário no Brasil

O sistema previdenciário brasileiro é composto pela Previdência Social, que é constituído pelos RPPS- Regimes Próprios de Previdência Social e o pelo RGPS- Regime Geral de Previdência Social, e a previdência complementar, que se subdivide em aberta e fechada.

Previdência Social pode ser entendido como um seguro social. Todo indivíduo que contribui tem direito de receber um benefício no futuro. O contribuinte recebe tal benefício, quando o mesmo não dispuser mais de condições para o trabalho, sejam elas por doença, invalidez, morte, idade para aposentadoria, desemprego involuntário, reclusão ou afastamento devido à maternidade (MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL, 2019).

A mesma também está prevista em lei como direitos e garantias fundamentais, como segue no art.6º da Constituição Federal: “São direitos sociais a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição” (BRASIL, 1988).

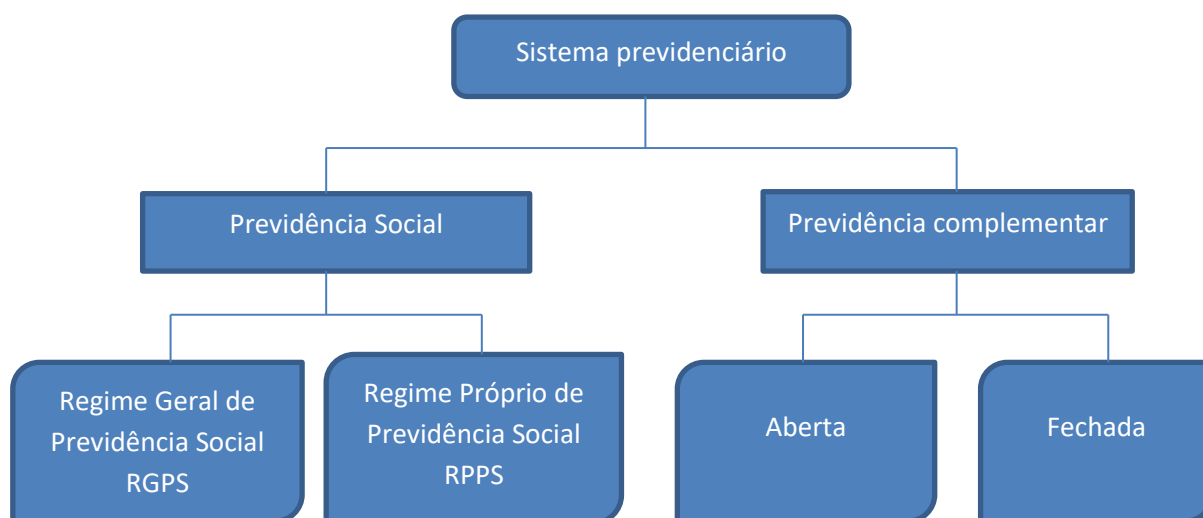
Os RPPS são compostos por servidores efetivos públicos estatutários. Todo município ou Estado podem ter o seu regime próprio. Já as RGPS são compostas por funcionários do setor privado. Alguns desses Regimes utilizam modelo de financiamento

por capitalização e pelo que se vê, existe uma tendência para esta mudança. (MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL, 2019).

Quanto à Previdência Complementar, ela se subdivide em aberta e fechada. A previdência complementar, como o próprio nome sugere, é um benefício para complementar a aposentadoria. As entidades abertas podem ser contratadas por qualquer indivíduo, sem qualquer tipo de restrição, sendo que tais instituições têm fins lucrativos e são fiscalizadas pela SUSEP- Superintendência de Seguros Privados. As fechadas são conhecidas como fundos de pensão, que serão abordados mais profundamente, são oferecidas de acordo com o vínculo empregatício. São entidades sem fins lucrativos e fiscalizados pela PREVIC- Superintendência de Previdência Complementar (MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL, 2019).

Basicamente, a estrutura previdenciária brasileira pode ser entendido conforme Figura 1.

Figura 1 Sistema previdenciário brasileiro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O modo de contribuição nos regimes públicos e privados é, geralmente, o de repartição simples e por capitalização, respectivamente. É importante frisar que os sistemas

estão expostos a riscos distintos¹: o público com os riscos demográficos e o privado com os riscos de mercado e financeiro. Para melhor entendimento, segue a definição desses riscos:

Risco de mercado é a incerteza de ganho ou perda em relação às variações do mercado. Ou seja, é o risco que se dá pelas oscilações de preços dos ativos ocasionados pelas oscilações dos mercados (CROUHY; GALAI; MARK, 2008).

Risco demográfico é o risco causado pela transformação da estrutura etária da população, por exemplo, do envelhecimento da mesma. Essa mudança no padrão demográfico ocasiona alterações na estrutura atuarial dos sistemas de previdência (GIAMBIAGI; TAFNER, 2012).

4.2. Fundos De Pensão

Segundo a ABRAPP (2019), pode-se separar em três a importância de uma previdência complementar fechada bem desenvolvida: Para os participantes do plano, para as empresas patrocinadoras e para a sociedade.

Para os participantes, pode-se separar em quatro principais pontos, sendo eles, **manutenção do participante** (1), no período de aposentadoria, de padrão de renda semelhante ao do período em atividade, permitindo exercício da cidadania; **formação de uma poupança** (2) de longo prazo; **segurança financeira** (3); e, por fim, a **possibilidade de obtenção de empréstimos e financiamentos** (4) com taxas mais baixas.

Quanto para as empresas, torna-se uma importante ferramenta para o RH, pois melhora as relações com os colaboradores (participantes) e empresa, atrai e mantém mão de obra qualificada, aumenta a fidelização do colaborador, complementa a renda da aposentadoria pública para colaboradores ou associados que recebem mais do que o teto da previdência social, transmite um sentimento de segurança ao funcionário ou associado e familiares (ocasião de invalidez e morte), além de expor uma boa imagem perante a sociedade.

Por fim, os benefícios para a sociedade, tendo a capitalização das empresas, através dos investimentos no mercado de ações, o que gera um retorno em formação de

¹ Os fundos de pensão estão expostos a outros tipos de riscos como o risco de crédito, risco operacional, risco de liquidez e o risco de descasamento entre ativos e passivos. Porém só o risco de mercado e o risco demográfico são expostos e comparados neste trabalho.

novos postos de trabalho, além do financiamento de projetos de médio e longo prazos, contribui com a arrecadação direta e indireta de impostos, auxilia na manutenção do poder de compra no mercado de consumo, aquecendo a economia, e possibilita melhor qualidade de vida aos inúmeros beneficiários e seus dependentes.

É importante destacar que, segundo a ABRAPP (2019), é crescente no país a reivindicação de trabalhadores em grandes empresas pela formação da previdência complementar fechada, devido ao fato de conscientização por parte dos mesmos a respeito da importância da proteção previdenciária para si e seus familiares.

Além disso, como foi citado anteriormente, os fundos de pensão possuem suas políticas internas de composição de carteira de investimento. Porém, o órgão regulador, a PREVIC, também estabelece diversas regras quanto a sua estrutura.

Por exemplo, a Resolução CMN nº 4.661, de 25 de maio de 2018, elaborado pela PREVIC, impõem algumas regras.

De acordo com tal resolução, no capítulo V, dos investimentos e limites de alocação, Seção I, aborda que os investimentos devem ser classificados nos seguintes segmentos de aplicação:

I - renda fixa;

II - renda variável;

III - estruturado;

IV - imobiliário;

V - operações com participantes;

e VI - exterior.

Além disso, também existe um limitador de investimento em renda variável (70%), assim como para os outros segmentos.

As subseções 3.2.1 e 3.2.2 discorrerá acerca dos dois principais fundos, apresentando dados sobre os mesmos, como número de participantes e brevemente acerca de suas políticas de investimento.

4.2.1. PETROS- FUNDAÇÃO PETROBRÁS DE SEGURIDADE SOCIAL

A Fundação PETROS é o segundo maior fundo de pensão nos critérios de números de participantes e total de patrimônio, conforme a ABRAPP (2019). Seu patrimônio chega a aproximadamente R\$ 94 bilhões. A Petros também é líder entre as Entidades Fechadas de Previdência Complementar- EFPC em multipatrocínio.

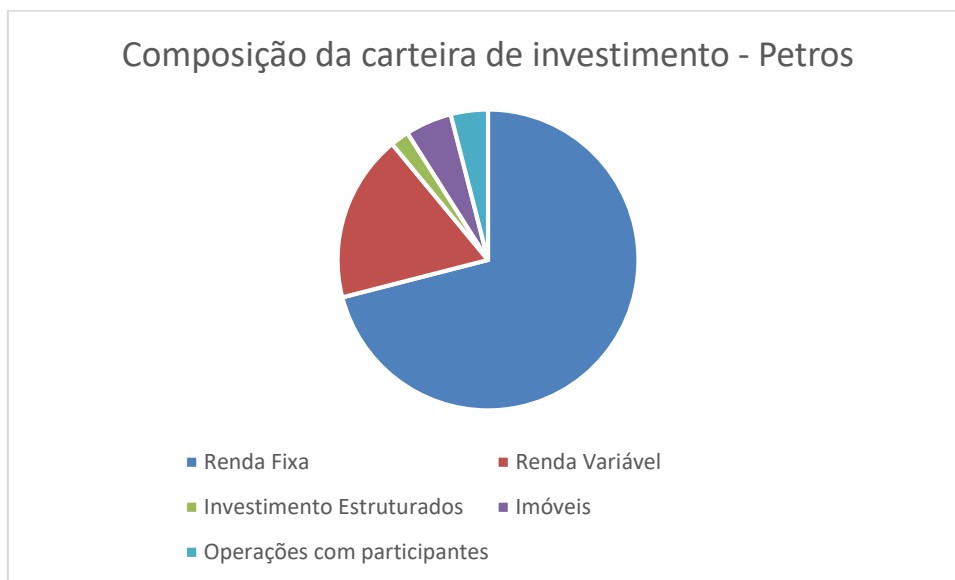
Quanto aos participantes, são 71.211 ativos e 73.322 aposentados dos quais estão distribuídos conforme apresentado na Tabela 2. Sua carteira de investimento está estruturada conforme Figura 2.

Tabela 2- Distribuição dos participantes- Petros

Tipos de plano	Total de planos	Total de participantes
BD- 11 empresas patrocinadoras	7	79.221
CD- 31 empresas patrocinadoras	14	7.180
CV- 13 empresas patrocinadoras	3	53.696
Instituídos- 68 entidades de classe ou associações	13	4.436
Total	37	144.533

Fonte: PETROS (2019).

Figura 2- Composição da carteira de investimento- Petros



Fonte: PETROS (2019)

A carteira de investimento é composta por 71% em renda fixa, 18% em renda variável, 2% em Investimento Estruturados, 5% em imóveis e 4% em operações com participantes.

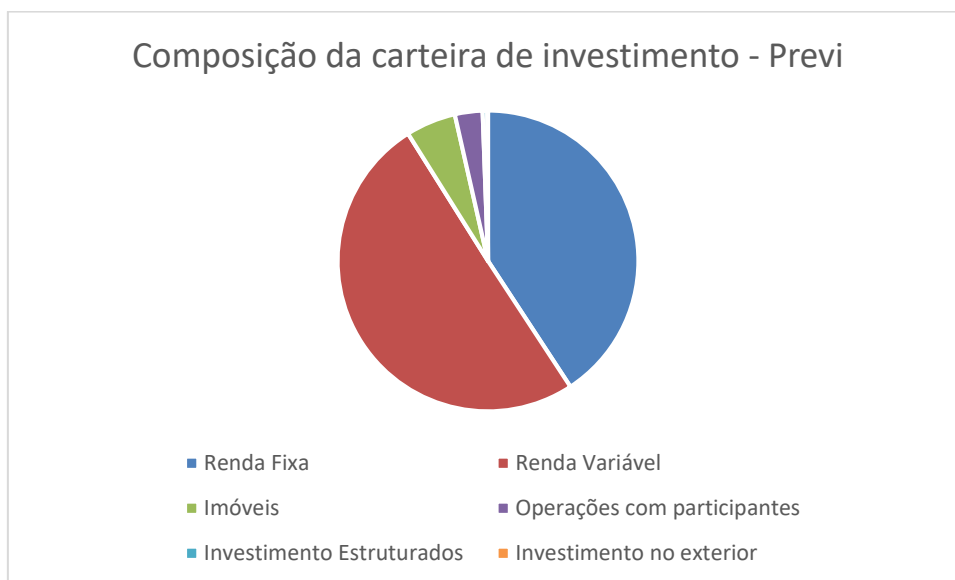
Quanto a meta atuarial, os planos propostos pela Petros apresentam, em média, uma taxa de 5,27% mais o IPCA. Ou seja, a política afirma que, além da valorização do IPCA, para bater a meta atuarial, a carteira tem que valorizar 5,27%. Porém, quanto aos retornos referentes a renda variável, a instituição tem como meta alcançar, ao menos, o índice Ibovespa, que é o índice médio das cotações negociadas na B3 (Brasil Bolsa Balcão). O índice é contabilizado a partir das ações com maior volume negociadas nos últimos meses.

4.2.2. PREVI - CAIXA DE PREVIDÊNCIA DOS FUNCIONÁRIOS DO BANCO DO BRASIL

A PREVI - Caixa de Previdência dos Funcionários do Banco do Brasil é a maior Entidade Fechada de Previdência Complementar brasileira, tanto em número de participantes, quanto em valores financeiros. Ela é composta por 89.669 ativos, 246.307 dependentes e 104.787 assistidos (PREVI, 2019).

Quanto a meta referente a renda variável, a PREVI espera, segundo o seu plano de investimento 2019-2022, superar o IBrx. O IBrx é um índice da Bolsa de valores de São Paulo que avalia o retorno de uma carteira das 100 ações mais negociadas na B3.

Figura 3- Composição da carteira de investimento- Previ



Fonte: Previ (2019)

Segundo informações do endereço eletrônico da PREVI, a rentabilidade observada no primeiro trimestre de 2019, no que se refere a renda variável é de -3,63%. Além disso, também é possível verificar que a rentabilidade da carteira referente a este segmento também foi inferior ao índice IBrx, colocado como meta.

4.3. Mercado De Ações

Segundo a BM&F Bovespa (2010, pag 13), “o mercado de capitais é um sistema de distribuição de valores mobiliários que tem por objetivo proporcionar liquidez aos títulos de emissão e viabilizar o processo de capitalização”. O mercado de capitais é constituído pelas bolsas, corretoras e outras organizações financeiras, porém, este trabalho terá um enfoque maior na Bolsa de valores. O principal título negociado pelo mercado de capitais são as ações, essas são títulos que representam uma fração mínima do capital social de uma Sociedade anônima (empresa de capital aberto). Logo, adquirindo uma ação, o investidor pode ser considerado um sócio da mesma.

Já o mercado de ações, tema que será aprofundado no presente trabalho, é considerado um segmento do mercado de capitais e pode ser dividida em duas partes: mercado primário e mercado secundário. O mercado primário se caracteriza pelo primeiro contato da empresa com o mercado de ações. Ocorre quando a empresa deseja se capitalizar e torna suas ações públicas, conseguindo assim, recurso para investir sem a necessidade de um empréstimo bancário. Já o mercado secundário é a relação que existe entre as trocas de ações, quando passa de um investidor A, detentor do título de uma ação no presente momento, para o investidor B, que pretende adquiri-la. Tais operações se concretizam por intermédio de uma seguradora (BM&F BOVESPA, 2010).

Basicamente, existem dois tipos de ação: Ordinária e Preferencial. As ações ordinárias (ON ou 3, como são indicados no código referente ao tipo da ação) oferecem direito ao voto e, em alguns casos, participação nos dividendos. As ações preferenciais (PN ou 4) oferecem prioridade no recebimento dos dividendos e não possuem direito ao voto. As negociações deste tipo de ações são oferecidas pelas Bolsas de valores. Elas oferecem condições e os sistemas para a negociação de compra e venda das ações e são oferecidas pelo local onde ocorre o investimento do país (BM&F BOVESPA, 2010).

As bolsas são imprescindíveis para o desenvolvimento da economia de um país por alocar a poupança e recursos de investimento, o que gera sinais positivos em relação ao preço dos ativos e nas informações existentes no sistema econômico local (FAMA, 1991). Ou seja, o elevado número de investimento proporciona ao mercado alta liquidez dos ativos, o que gera, normalmente, altos valores de investimento e desenvolvimento local. Pode-se entender então que, quanto mais desenvolvida é a economia do país sede, maior será a confiança e liquidez no seu mercado de ações. Bekaert et al. (1995) também relacionam o desenvolvimento do mercado de ações com a melhora dos índices macroeconômico dos países, pois, segundo os mesmos, o crescimento nos investimentos neste mercado gera uma melhor realocação dos recursos financeiros para os setores mais produtivos da economia.

Quanto às oscilações nos preços dos ativos no mercado de capitais, as mesmas podem ser justificadas de uma forma simples: lei da oferta e demanda. Por exemplo, existem muitas pessoas interessadas em comprar um tipo de ação de uma determinada empresa. Se o número de compradores é maior do que o número de vendedores, os vendedores só aceitarão vender suas ações por um preço mais elevado, sendo que o

contrário também se aplica. Porém, existem diversos fatores que interferem na oferta e na demanda destes ativos. Notícias como corrupção ou risco de falência afetam nas decisões de compra ou venda dos referidos ativos, além de questões políticas e sociais. No Brasil, a principal instituição de intermediação para as operações referentes ao Mercado de Capitais é a B3. Além do mais, a mesma está também entre as maiores bolsas do mundo em valor de giro de mercado.

4.4. Séries Temporais

De acordo com Morretin & Toloí (1987), uma série temporal é composta por quatro elementos: 1) Tendência: verifica o sentido de deslocamento da série ao longo de vários tempos; 2) Ciclo: movimento ondulatório que ao longo de vários anos tende a ser periódico; 3) Sazonalidade: movimento ondulatório de curta duração, em geral, inferior a um ano. Está associada, na maioria dos casos, a mudanças climáticas, e; 4) Ruído aleatório ou erro: compreende a variabilidade intrínseca dos dados.

Quanto aos modelos de séries temporais, os mesmos podem ser divididos em duas frentes principais: modelos de análise da frequência e modelos de análise do tempo. Isto é, modelos nos quais se analisa a quantidade da variação dos pontos em função do tempo, e modelos onde a análise é feita sobre a quantidade dos pontos que é expressa em cada faixa dada de uma série de frequências (MOREIRA, et al, 2010). Análises de dados de séries temporais servem para obter propriedades e informações de relevância estatística dos dados, enquanto previsões de dados possibilitam a estimação de valores futuros, através de modelos apropriados.

Segundo Corrar e Theóphilo (2004), uma série temporal é um conjunto de observações sequenciais de determinada variável, expressas numericamente, obtidas em períodos regulares do tempo. Tubino (2000) diz que as previsões baseadas em séries temporais são os métodos mais simples e usuais de previsão e que partem do princípio de que a demanda futura será uma projeção de seus valores passados. Diferentemente de amostras aleatórias simples, a disposição das observações em função do tempo define uma correlação entre os pontos. Teoricamente, quanto mais perto os pontos, maior o grau de dependência entre eles. Esta ordenação do tempo implica que dados que sofreram influência num período passado continuam sob tais influências. Logo, pode-se estabelecer

um padrão que determina que dados futuros podem, de certa forma, ser estimados pelos valores passados.

Uma série temporal tem os dados coletados sequencialmente ao longo do tempo e, devido isso, espera-se que ela apresente correlação temporal, ou seja, correlação entre as séries espaçadas e observada. Os modelos de Box-Jenkins, genericamente conhecidos por ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Averages*) e na literatura em português por Auto regressivos Integrados de Médias Móveis é um tipo de modelo para ajustes de séries temporais e são modelos matemáticos que visam captar o comportamento da correlação seriada ou autocorrelação entre os valores da série temporal, e com base nesse comportamento realizar previsões futuras. Se essa estrutura de correlação for bem modelada, fornecerá boas previsões. (WERNER; RIBEIRO, 2003).

Ainda existem na metodologia os modelos ARMA- auto regressivos de médias móveis e para a utilização de dados com comportamentos sazonais para o ARIMA, utilizam-se o modelo sazonais multiplicativos, o SARIMA. Os modelos Garch também são modelos para a previsão de séries temporais. Este é utilizado, em sua maioria, em séries financeiras, nas quais a série tem distribuição log-normal, com média e variância constantes (CALDEIRA;SOUZA; MACHADO , 2009).

4.5. *Pairs Trading* - Arbitragem Estatística

De acordo com Gatev et al. (2006), em meados dos anos 80, no mercado de Wall Street, um grupo foi criado por Nunzio Tartaglia, compostos de matemáticos, físicos e profissionais da área da computação, para aplicar métodos estatísticos de alta tecnologia para executar negociações automatizadas. O Método substituíu as habilidades e instintos de um comerciante por um sistema de filtros consistente e disciplinado. Estes métodos trabalhavam com pares de ações, e, segundo Gatev et al. (2006), esse grupo conseguiu em torno de 50 milhões de dólares com essas transações. Apesar de o grupo ter sido desfeito pouco tempo depois, o *Pairs trading* se tornou cada vez mais popular.

Pairs trading ou arbitragem estatística, conforme Thomaidis e Kondakis (2006), busca a obtenção de lucro a partir das discrepâncias que surgem na diferença entre dois pares de ações, considerando que elas tenham a mesma correlação e particularidades numa análise feita em longo prazo. Ou seja, considerando que as ações A e B estão

correlacionadas. Quando existir uma disparidade no preço das mesmas, o método irá lucrar com a venda da ação sobrevalorizada e a compra da subvalorizadas, pois, por fim, elas tendem a se equiparar nos preços num futuro próximo. Os pares de ações, então, devem ter características similares, preços próximos e devem partilhar uma tendência estocástica comum.

Assim, o método *Pairs Trading* considera um conceito de preço relativo. Ou seja, se duas mercadorias são iguais, com mesmo tempo de troca, os preços devem ser iguais (LAMONT; THALER, 2003). Esta teoria pode ser entendida como “*The Law of One Price (LOP)*”. Porém, Gatev et al (2008) afirmam que os preços não necessitam ser os mesmos para a aplicação do conceito estudado, mas sim semelhantes para ser possível lucrar com os desvios dos preços das ações.

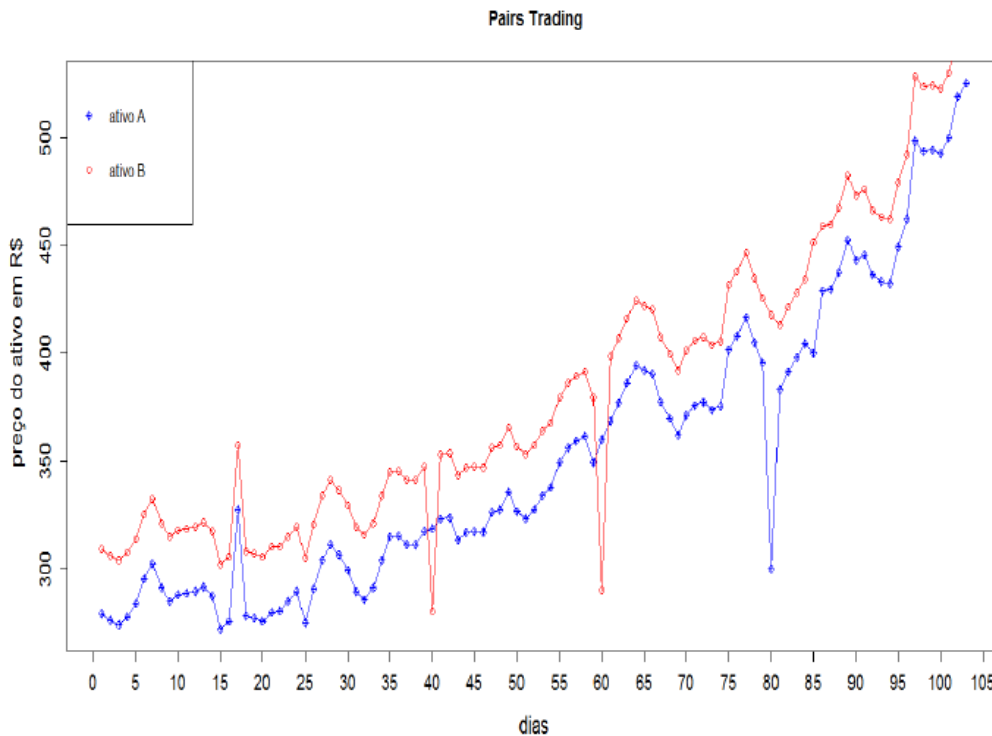
Apesar de ser um método com baixíssimo risco, o mesmo ainda é possível. Caso as diferenças entre os preços dos ativos passem a se distanciar no momento, o prejuízo irá aumentar, porém, se as ações tiverem tendência estocástica comum, o preço das mesmas tende a se equiparar novamente. Por isso a importância de uma escolha adequada dos pares para as trocas futuras.

Pode-se assumir, então, que o *pairs trading* são operações que podem ocorrer num curto espaço de tempo, ou seja, várias operações podem ser feitas num período curto, porém, as análises dos pares dos ativos terão que ser observados num período longo, para ver se suas médias convergem. As opções de compra e de venda devem ser feitas simultaneamente.

A Figura 4 apresenta um exemplo de fácil entendimento acerca do método *Pairs Trading*, que mostra as oscilações de dois preços de ativos, A e B, meramente ilustrativos, apresentadas por dia, com uma correlação altíssima entre eles. O método propõe a obtenção de lucro quando existe alguma disparidade no preço do ativo. Por exemplo, no dia 40, ocorrerá a compra do ativo B, que está subvalorizado, e a venda do ativo A, até o preço se equiparar novamente. O mesmo ocorre novamente no dia 60. Já no dia 80, ocorrerá o oposto, compra do ativo A, que está subvalorizado, e a venda do ativo B. Assim, o método vai lucrar com as variações e disparidades dos que estão subvalorizados no momento, mas que tendem a voltar ao preço do outro ativo correlacionado. Gundersen (2014), assim como Nath (2003), levantam algumas questões

para a escolha dos ativos antes da implementação da técnica de *Pairs Trading*, como acerca das escolhas dos pares, o momento certo para encerrar ou fazer a opção de compra dos ativos e até mesmo a quantidade de capital para as escolhas de curta e longa troca.

Figura 4- Exemplo ilustrativo para a utilização de *Pairs Trading*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Acerca dos pares, não existe um consenso na literatura sobre qual é o melhor método. Vidyamurthy (2004) utiliza a cointegração, Gatev, Goetzman e Rouwenhorst (2006) normalizam os dados e calculam a distância, sendo identificados pelo histórico de co-evolução dos preços. Outro método é pelo cálculo de um processo estocástico comum dos ativos, sendo pouco utilizado.

4.2.1 APROXIMAÇÃO PELA COINTEGRAÇÃO

Lin et al. (2006) definem o conceito de cointegração como:

Sendo $X_{1t}, X_{2t}, \dots, X_{nt}$ ser uma sequência de I (1) (integradas de primeira ordem) de séries temporais. Se existem números reais negativos diferentes de zero $\beta_1 +$

$\beta_2 + \dots + \beta_n$, de tal modo que $X_{1t}\beta_1 + X_{2t}\beta_2 + \dots + X_{nt}\beta_n$, resulta em uma I (0) série estacionária, então $X_{1t} + X_{2t} + \dots + X_{nt}$ são ditos como cointegrados.

5 MATERIAL E MÉTODO

5.1 Material

Os dados acerca das ações negociadas pela B3 foram disponibilizados a partir do yahoo finance (2019).

5.2 Método

Para realizar os testes e simulações, o Rstudio foi utilizado. E os seguintes bibliotecas foram utilizadas: 'tseries', 'quantmod', 'PerformanceAnalytics', 'roll' e 'urca'.

Os dados foram separados em treino e teste. A base de treino foi composta por ações, em escala diária, de janeiro de 2017 até o final de dezembro de 2018. Enquanto que o período de teste é composto pelo preço dos ativos de janeiro de 2019 até o final de maio. O período de treino, é o período que se utiliza o histórico para ajustar o modelo, e o período de teste é o qual, após o ajuste, faz-se as simulações e avalia o desempenho do modelo.

Ao todo, foram analisadas 30 ações negociadas na B3, do ramo imobiliário. Primeiramente, foi realizada uma matriz de correlação e separada os pares que apresentavam correlação positiva maior do que 0,60. Esta correlação foi medida com os dados de treino. A partir disso, apenas com a correlação, foram separadas 9 pares de ação que poderiam ser relevantes para a metodologia.

Como espera-se que as ações tenham comportamentos parecidos e, ao longo prazo, elas se convirjam, entende-se que, de preferência, elas sejam estacionárias. Porém, elas podem se tornar estacionárias a partir da cointegração.

O trabalho desenvolveu a técnica de Fernandez (2019), no qual pode ser dividido em 6 etapas:

A primeira consiste em identificar possíveis pares a partir da correlação linear entre os preços dos ativos. A segunda etapa transforma os dados observados em retornos diários acumulados.

Posteriormente, para a terceira etapa, encontram-se os *pairs spreads* dos ativo. Os *pairs spread* consistem nos resíduos da regressão linear simples. Ou seja, quando apresenta um valor do ativo como variável explicativa de outro ativo, utilizando o zero como intercepto. Assim como segue na Equação 2:

$$S_t = y_t - \beta_t x_t \quad (2)$$

Sendo y_t o preço do ativo y no período t, e x_t o preço do ativo x no período t.

Caso os *pairs spreads* calculados sejam estacionários, os pares podem ser entendidos como cointegrados. Em suma, caso ambas as séries não sejam estacionárias, e sua diferenciação sim, utiliza-se o teste Eagle-Granger, nos *pairs spreads* para verificação.

É importante entender que, nesta etapa, é calculado o *pairs spreads* apenas com os dados de treino.

Na quarta etapa, após as etapas de identificação, a etapa de estratégia das ações perante as compras e vendas se faz necessária. Com isso, antes de realizar os *pairs spreads* para as simulações, é necessário elaborar o novo *pairs spreads* com os dados de teste. Porém, com o Coeficiente calculado na primeira regressão, conforme Equação 3.

$$S_{teste} = y_{teste} - \beta_{treino} x_{teste} \quad (3)$$

Para a quinta etapa, normaliza-se esta nova série, seguindo a Equação 4:

$$Z_t = \frac{S_t - \mu_{t,m}}{\sigma_{s,m}} \quad (4)$$

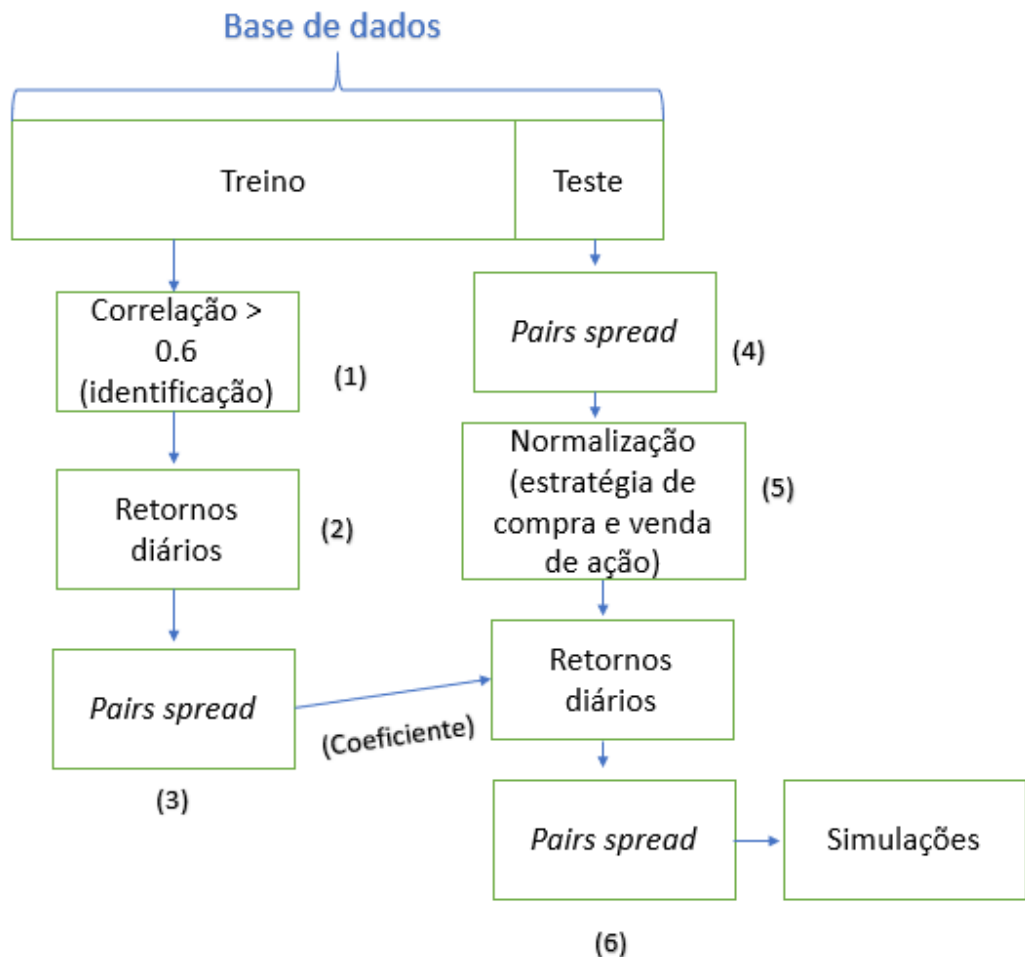
Assim, com os dados normalizados, acrescentam-se as etapas de compra e venda para curto e longo prazo. Por fim, na sexta etapa, calcula-se um novo *pairs spread*,

com os dados com retorno diário, utilizando o coeficiente da primeira regressão, da fase de teste.

Ao todo, três *'pairs spreads'* são calculados: o primeiro é com os ativos no período de teste. A segunda com os valores de ativos encontrados no teste, que é calculado a estratégia para as trocas, além do coeficiente calculado no primeiro spread, como citado anteriormente. E a terceira com os pares já convertidos para os retornos diários. O último é utilizado para as simulações.

A Figura 5 apresenta o fluxograma completo do processo. As etapas citadas, e se o processo é referente com a base de treino ou de teste.

Figura 5- Fluxograma do método.



Quanto as estratégias de compra e venda, separam-se em duas formas: Longo e curto sinal. Mais especificamente, após a normalização, estas etapas se tornam possíveis. Quando existe a transição do *'pairs spread'* normalizado maior do que -2 para

menor do que -2, entra a estratégia de longo sinal. Quando ocorre a transição do *spread* de valor menor do que -1 para maior do que -1, ocorre a saída desta estratégia.

A entrada para de curto sinal, ocorre quando existe uma transição do *spread* normalizado menor que +2 para um valor maior do que +2. E a saída, na transição do valor maior do que +1 para um valor menor do que +1.

5.3 Métrica de avaliação

Foram utilizados três métricas de avaliação:

Retorno anual; Desvio padrão do retorno anual (volatilidade) e *Annualized Sharpe Ratio*.

O retorno anual mede a performance métrica. É composto pela média dos retornos anuais. Assim, quanto maior a medida, melhor em relação ao desempenho do modelo.

O desvio do retorno anual, volatilidade, é uma medida de risco. Neste caso, quanto maior, pior para o desempenho do modelo, e mais volátil é a ação.

Quanto ao “*Annualized Sharpe Ratio*”, é uma medida de risco acumulado com uma medida de performance. Com isso, quanto maior a medida, melhor para o modelo em relação a métrica.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram separados em duas subseções. Na primeira serão apresentados os resultados individuais de cada aplicação da metodologia. Na segunda subseção discorrerá acerca dos resultados gerais, apresentando uma tabela resumo com algumas características importantes.

6.1 Resultados Individuais

Trinta ações negociadas na Ibovespa, B3, do ramo imobiliário foram selecionadas para aplicar a metodologia, das quais doze ativos foram separados para os pares, formando nove possíveis combinações, conforme pode ser percebido na Tabela 3, que também apresenta as correlações lineares dos pares e a correlação dos retornos diários. Além da metodologia proposta, também foi incluído um novo modelo com uma taxa de comissão de 0,01%, para deixar o modelo mais próximo da realidade. Este modelo aplica uma taxa para cada compra ou venda de ativos.

Tabela 3- Correlação linear e correlação linear dos retornos diários dos nove pares de ações utilizados.

	Ativos 1	Ativos 2	Correlação linear	Correlação linear (retornos diários)
1	ALSC3	IGTA3	0,93	0,71
2	BBRK3	HBOR3	0,93	0,24
3	BBRK3	RSID3	0,85	0,19
4	CRDE3	LPSB3	0,79	0,10
5	EVEN3	CYRE3	0,81	0,60
6	HBOR3	BRPR3	0,69	0,33
7	PDGR3	BRPR3	0,72	0,16
8	PDGR3	EVEN3	0,60	0,20
9	TCSA3	BBRK3	0,93	0,19

Fonte: Elaborado pelo autor.

O primeiro par, dos quais os retornos diários podem ser vistos na Figura 6, se referem ao ALSC3 e IGTA3. O par apresentou alta correlação linear para ambas as relações. Na Figura 7, pode ser percebido o *pairs spread* dos ativos.

Utilizando o teste de sazonalidade, ambos ativos apresentaram ser não estacionários, porém, com uma diferenciação elas se tornam estacionárias, com 90% de confiança.

Quanto aos *spreads* dos pares (Figura 7) utilizando os mesmos testes, com 90% de confiança, não se rejeita a hipótese de estacionariedade. Com isso, pode-se dizer que as ações foram cointegradas, assim, atende um requisito importante para a metodologia.

Figura 6- Retornos diários das ALSC3-IGTA3 referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.

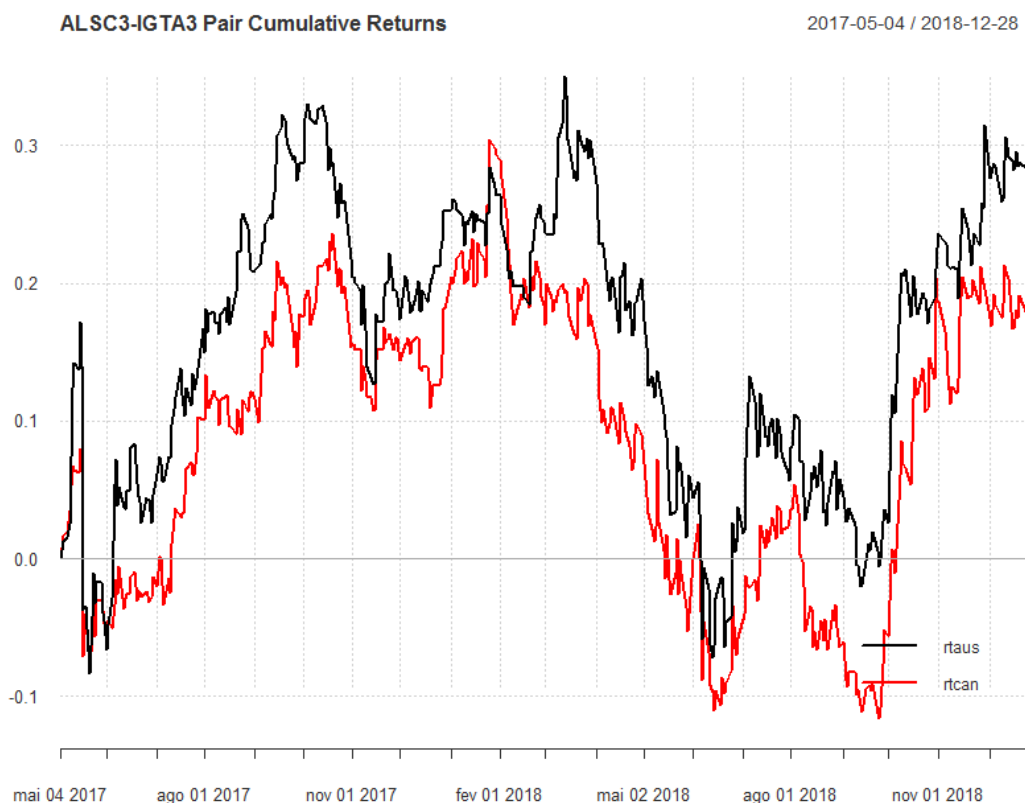
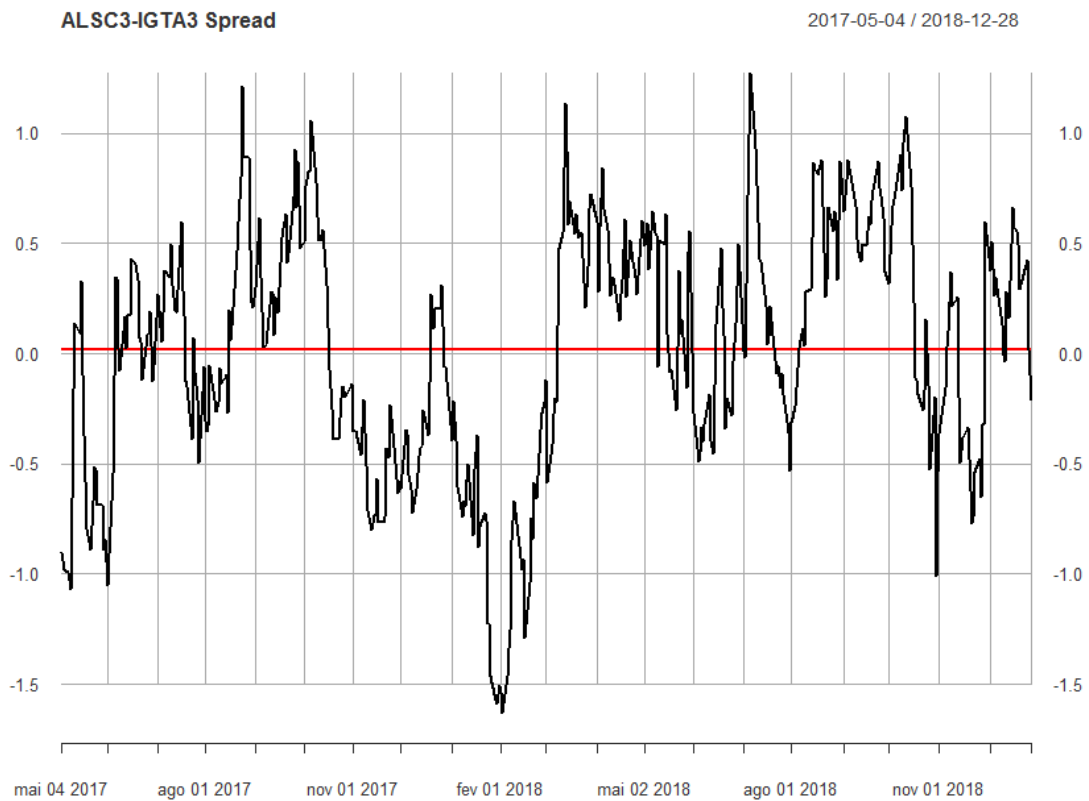


Figura 7 - *Spread* das ações ALSC3-IGTA3 calculado no período de treino.



Quanto a Figura 8, é atribuído as estratégias de compra e venda, para curto e longo prazo. Já para os resultados das simulações, Figura 9 e Tabela 4, percebe-se que a estratégia obteve retorno positivo, porém menor do que os retornos das ações individuais. Além disso, a volatilidade da metodologia foi bem menor do que das ações, entendendo que o risco do *pairs trading*, neste caso, era menor. Quanto ao *Annualized Sharpe Ratio*, aponta a ação IGTA3 como mais atrativa.

Figura 8- *Spread* normalizado dos ativos ALSC3-IGTA3, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste.

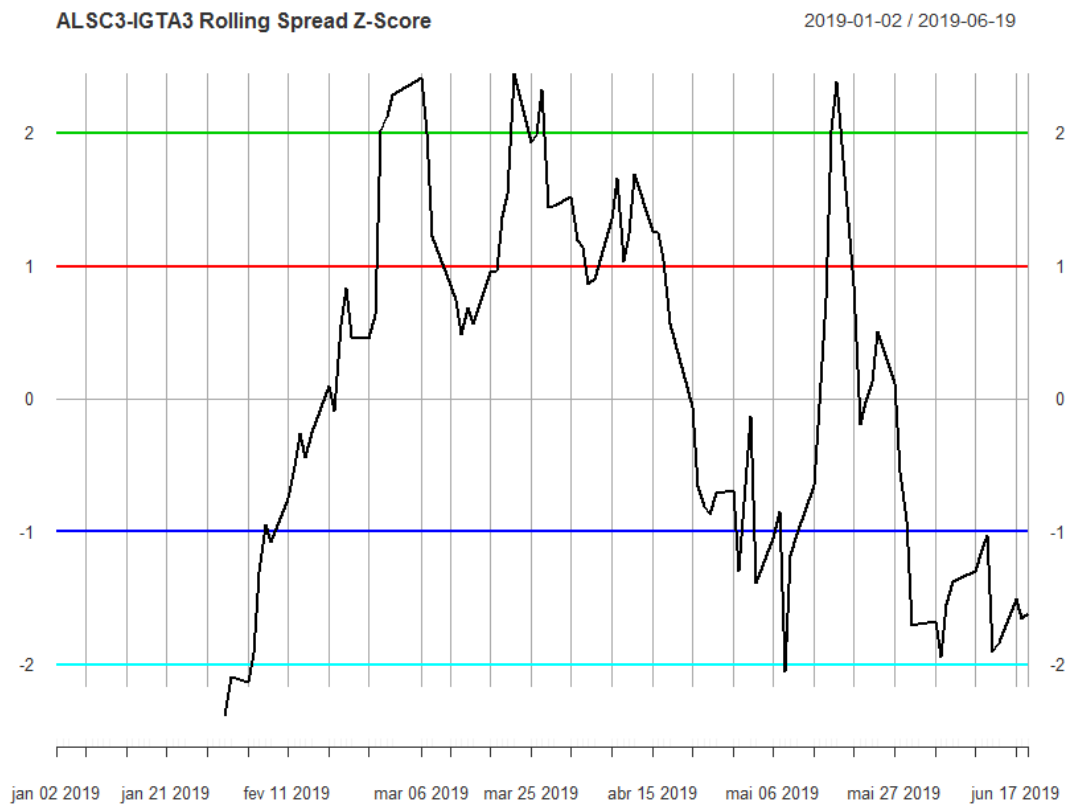


Figura 9- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações ALSC3 e IGTA3 no período de teste.

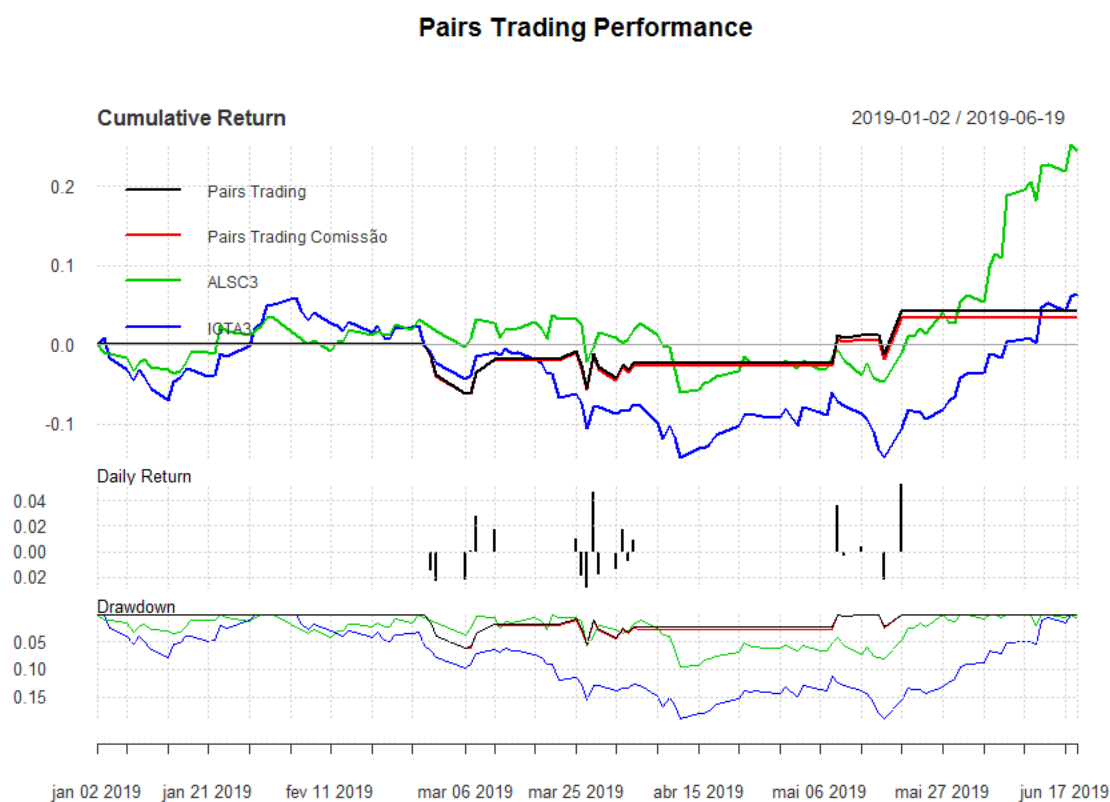


Tabela 4- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos ALSC3 e IGTA3.

	Pairs Trading	PairsTrading Comissão	ALSC3	IGTA3
Retorno anual	0,0931	0,0743	0,6078	0,1439
Volatilidade	0,1584	0,1583	0,2444	0,2405
<i>Annualized Sharpe</i> (Rf=0%)	0,5882	0,4693	2,4866	0,5982

Fonte: Elaborado pelo autor.

O segundo par, BBRK3 e HBOR3, apresentou uma correlação linear alta, porém, quando analisado pelos retornos acumulados diários esta correlação diminui significativamente. Seus retornos podem ser observados na Figura 10.

Na Figura 11, é possível observar a série dos *spreads*. Conforme o teste Phillips-Perron, com 90% de confiança, não rejeita a hipótese de estacionariedade.

Figura 10- Retornos diários das BBRK3- HBOR3 referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.



Na Figura 12 é possível observar os sinais para as trocas dos ativos, nas opções de curto e longo prazo. Já na Figura 13 e Tabela 5, são apresentados os resultados dos retornos. Com os resultados deste par, é possível analisar que, mesmo com o retorno negativo das duas ações, a metodologia conseguiu apresentar um retorno positivo. Ainda segundo a Tabela 5, a metodologia é a que apresenta menor volatilidade e a mais atrativa, segundo o *Annualized Sharpe Ratio*.

Figura 11- *Spread* das ações BBRK3- HBOR3 calculado no período de treino.



Figura 12- *Spread* normalizado dos ativos BBRK3- HBOR3, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste

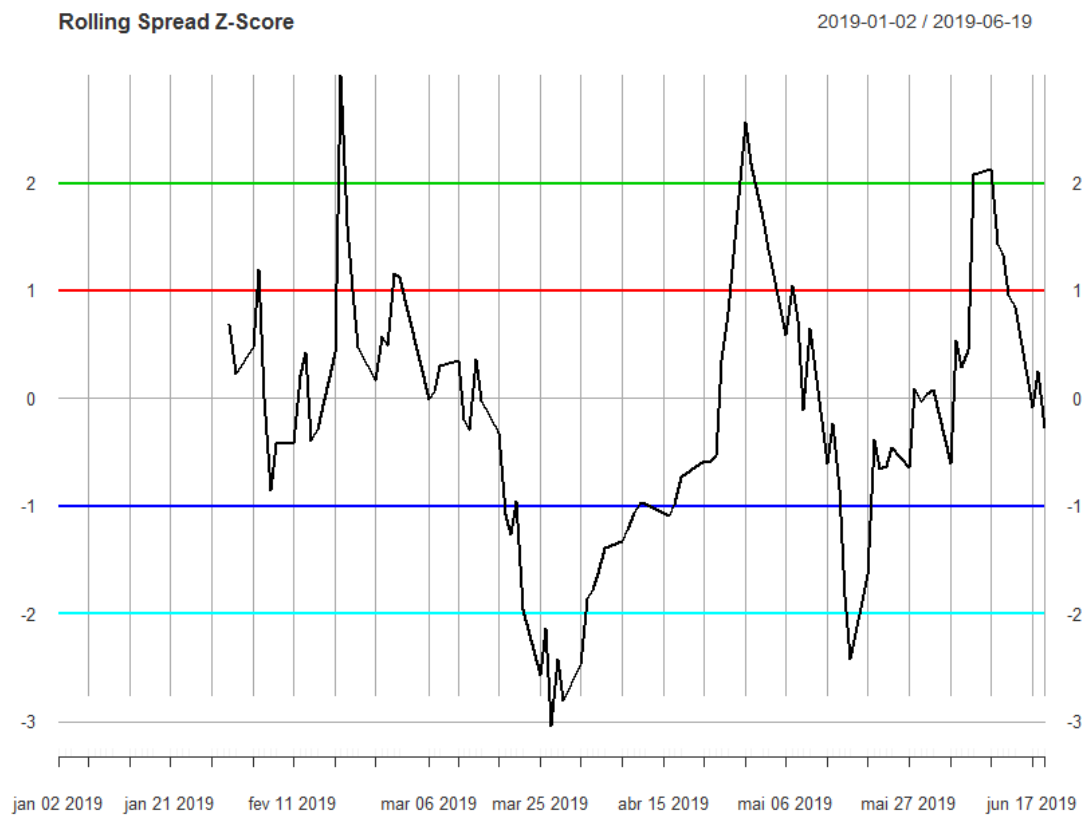


Figura 13- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações BBRK3- HBOR3 no período de teste.

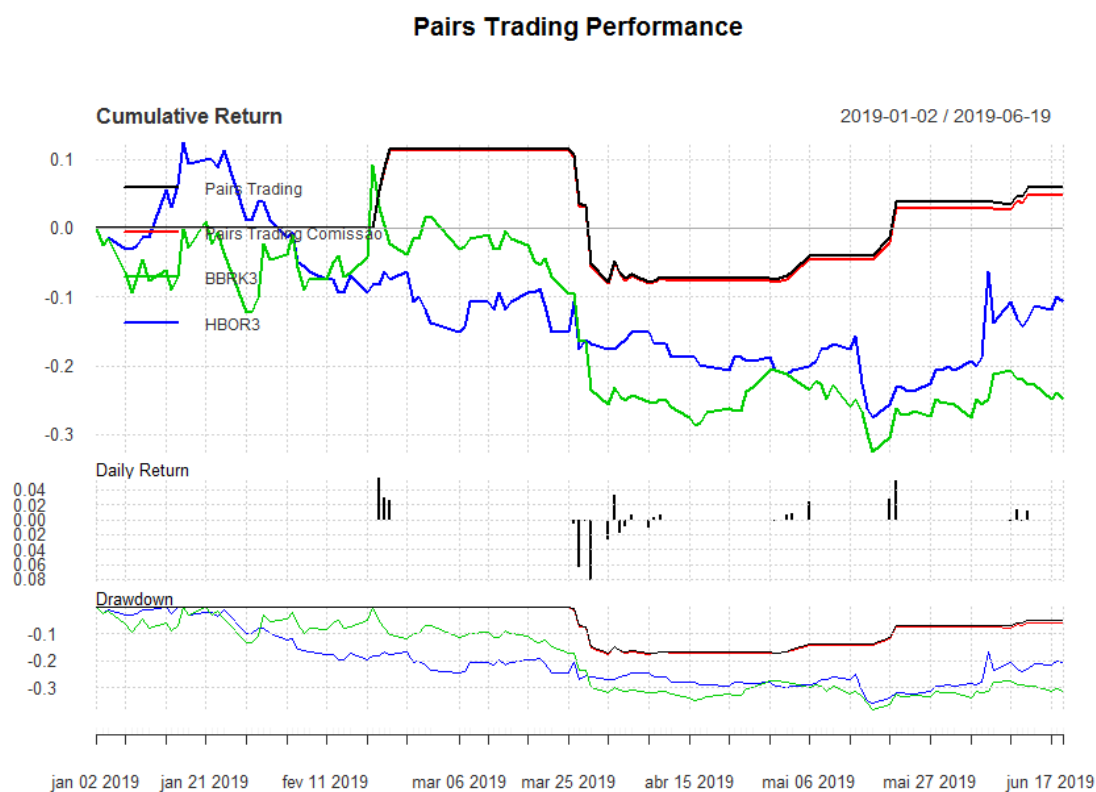


Tabela 5- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos BBRK3 e HBOR3.

	Pairs Trading	Pairs Trading Comissão	BBK3	HBOR3
Retorno anual	0.1314	0.1072	-0,4636	-0,2165
Volatilidade	0.2217	0.2211	0,5002	0,4611
<i>Annualized Sharpe</i> (Rf=0%)	0.5927	0,4850	-0,9269	-0,4696

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto o terceiro par de ações, BBRK3 e RSID3, não apresenta uma correlação linear alta quanto aos retornos acumulados. O retorno dos ativos pode ser visto na Figura 14. Quanto ao *spread* referente à este par de ação, Figura 15, utilizando 90%

de confiança, rejeita-se a hipótese de que a seja estacionária. Ou seja, as duas ações não podem ser consideradas cointegradas.

Figura 14- Retornos diários das BBRK3- RSID3 referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.



Na Figura 16, é possível ver os sinais para as ações deste *spread*. Já a Figura 17 apresenta os resultados das simulações dos retornos.

Figura 15- *Spread* das ações BBRK3- RSID3 calculado no período de treino.



Figura 16- *Spread* normalizado dos ativos BBRK3- RSID3, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste.

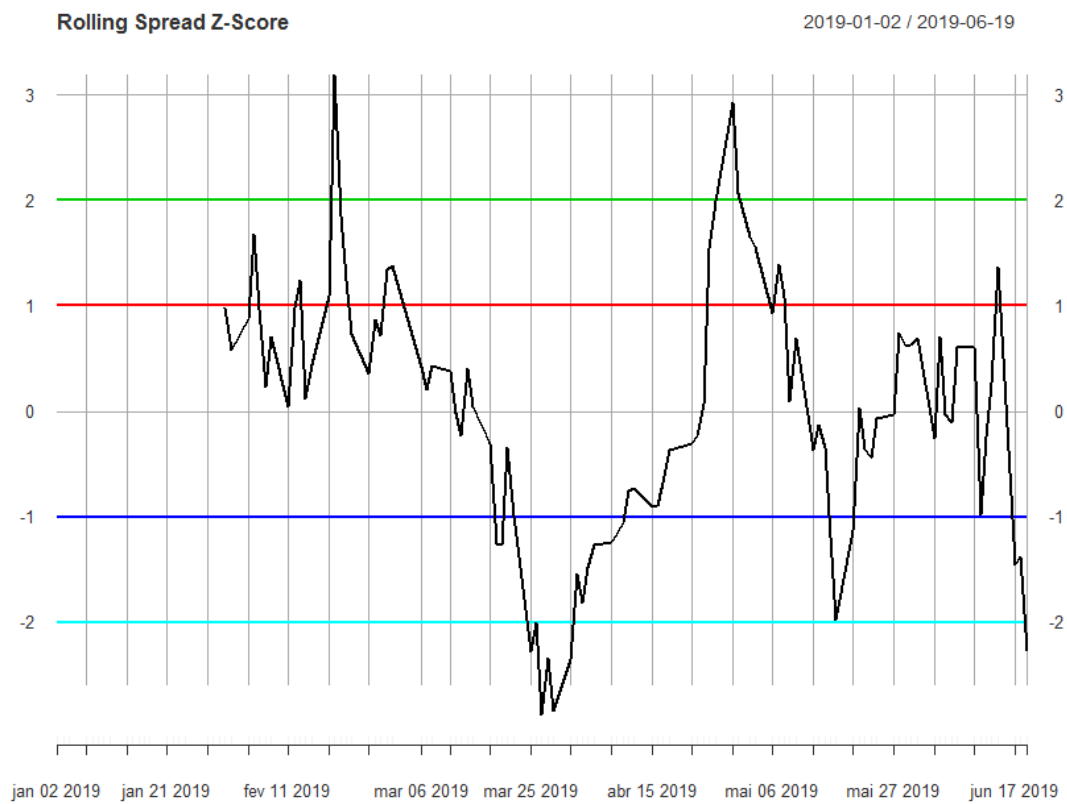
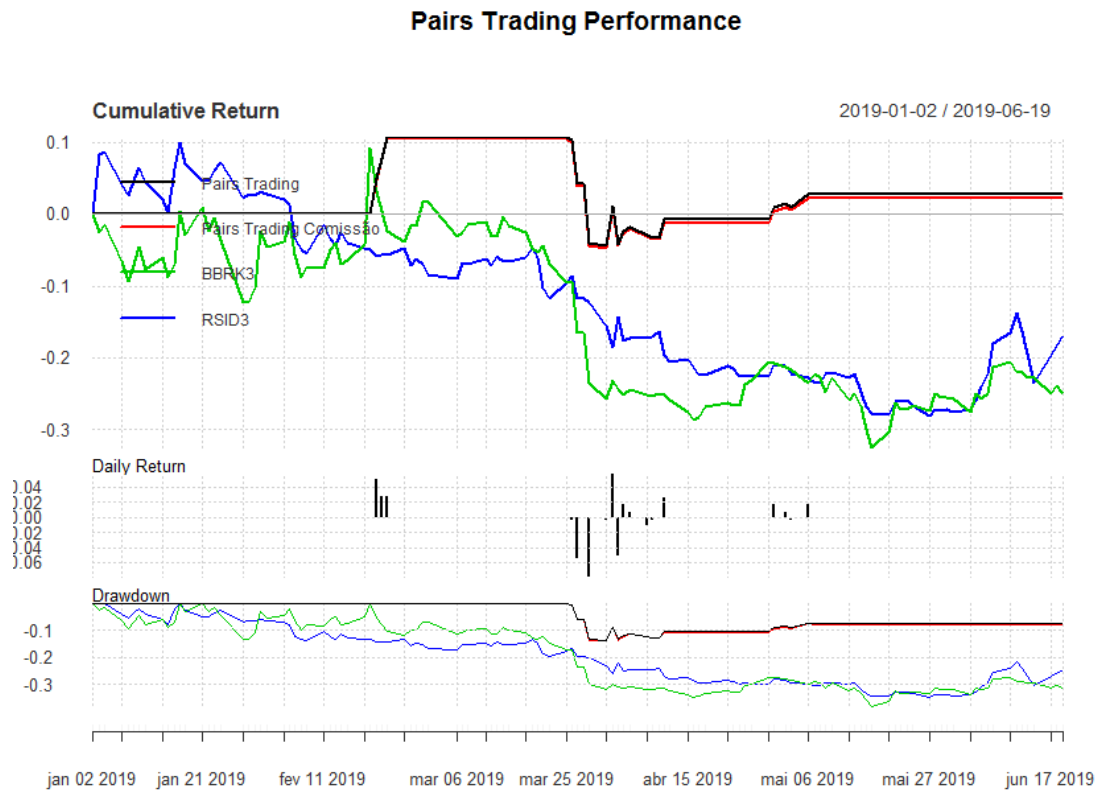


Figura 17- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações BBRK3- RSID3 no período de teste.



Assim, como é possível observar na Tabela 6, mesmo com os pares não sendo cointegrados, o retorno da metodologia apresentou retornos positivos, mesmo com as duas ações apresentando retornos negativos. O *pairs trading* também apresentou menor volatilidade e uma maior atratividade.

Tabela 6- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos BBRK3 e RSID3.

	Pairs Trading	PairsTrading Comissão	BBRK3	RSID3
Retorno anual	0.0611	0.0475	-0.4636	-0.3298
Volatilidade	0.2147	0.2141	0.5002	0.3598
<i>Annualized Sharpe (Rf=0%)</i>	0.2845	0.2217	-0.9269	-0.9166

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quarto par, formado pelos ativos CRDE3 e LPSB3, também apresentou baixa correlação quando aos retornos diários acumulados, visto na Figura 18. Na Figura 19 é possível ver a série do spread das ações e, com 90% de confiança, pode-se rejeitar a hipótese de que a mesma seja estacionária.

Os sinais para efetuar as ações podem ser vistos na Figura 20. Quanto aos resultados dos retornos desta simulação, podem ser observadas na Figura 21. De acordo com a Tabela 7, é possível observar que, mesmo não atendendo todos os requisitos necessários, o retorno foi extremamente positivo. Além disso, também apresentou uma menor volatilidade do que as demais ações vistas individualmente.

Figura 18- Retornos diários das CRDE3-LPSB3 referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.

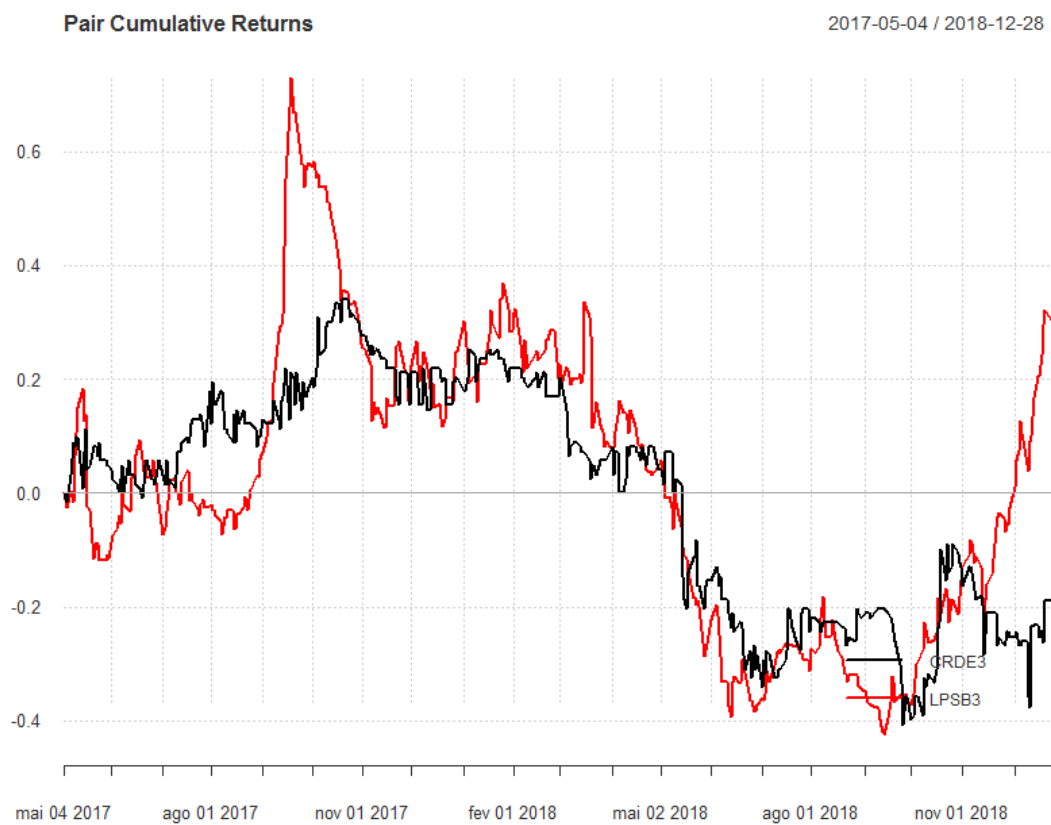


Figura 19- *Spread* das ações CRDE3-LPSB3 calculado no período de treino.

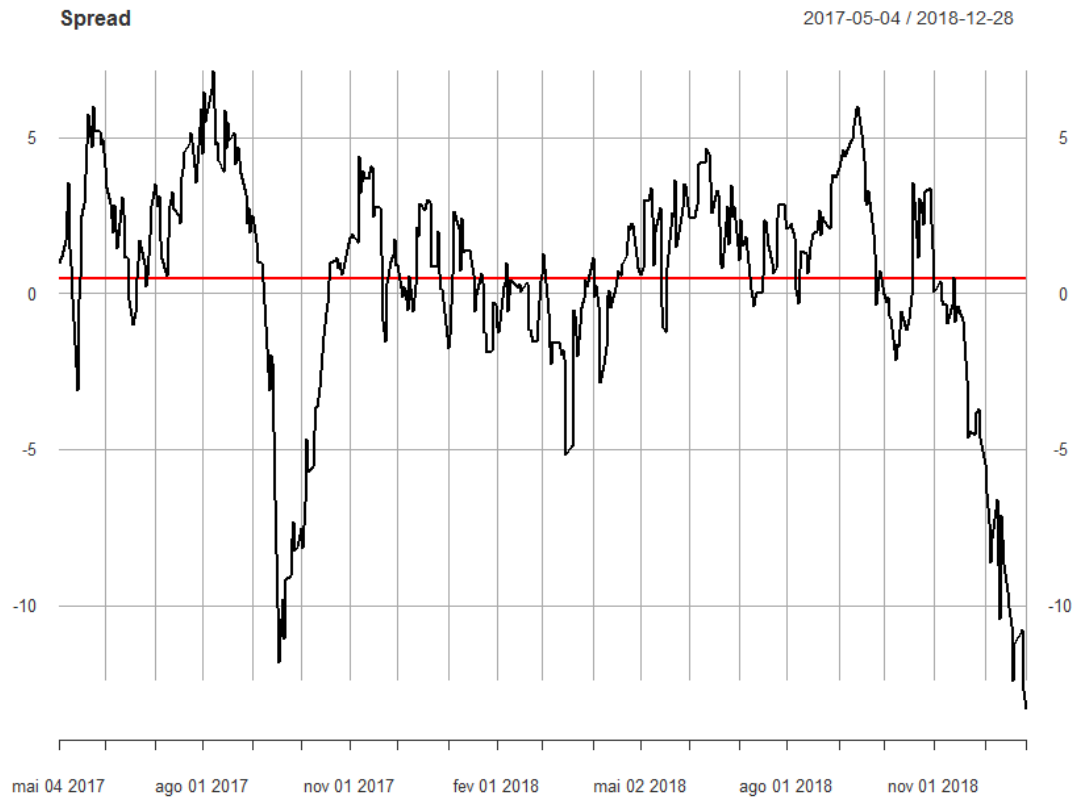


Figura 20- *Spread* normalizado dos ativos CRDE3-LPSB3, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste.

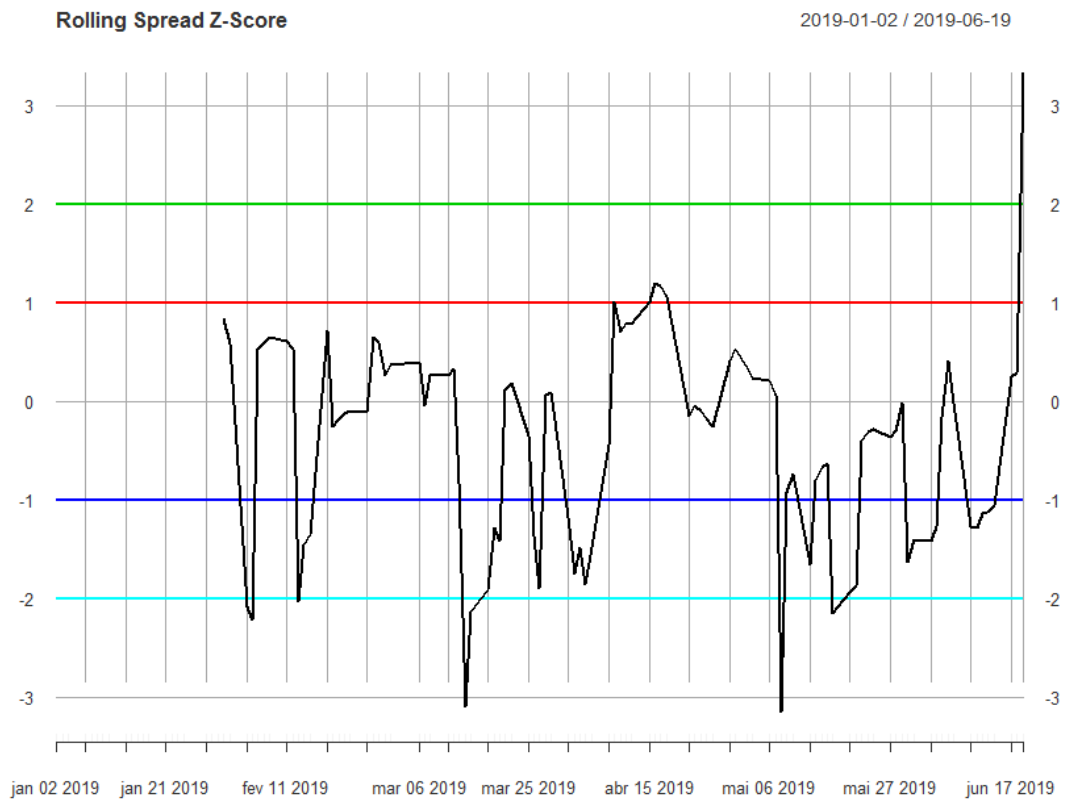


Figura 21- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações CRDE3-LPSB3 no período de teste.

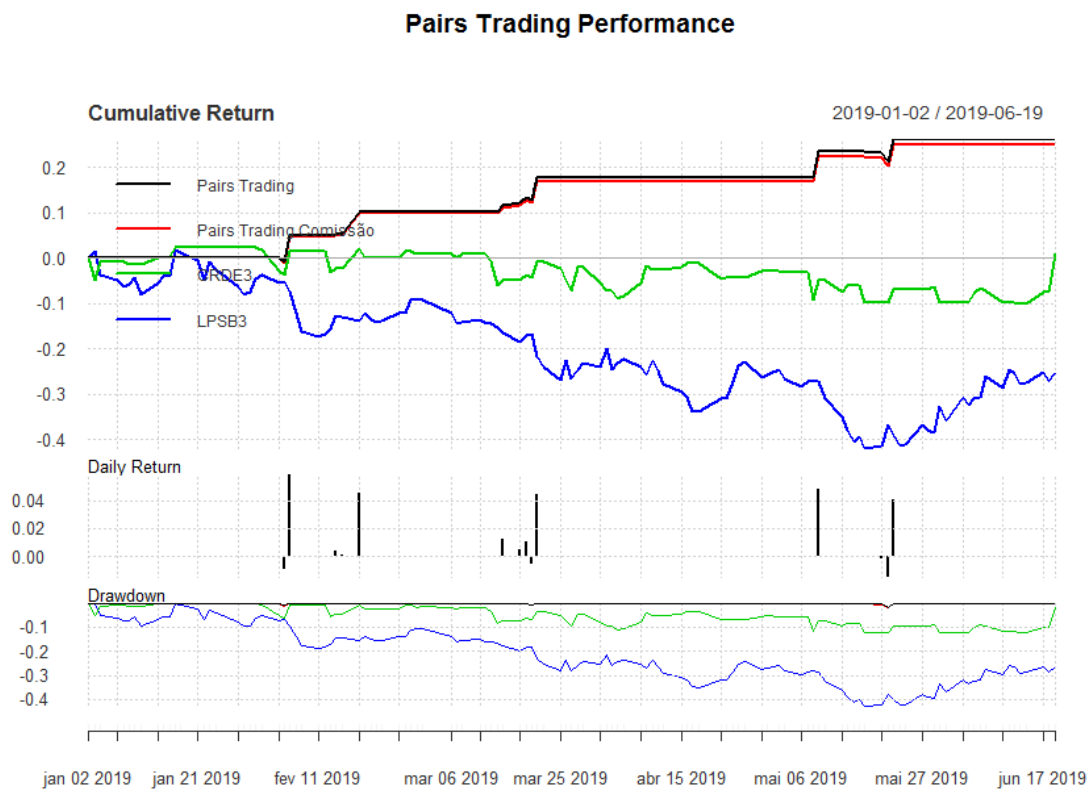


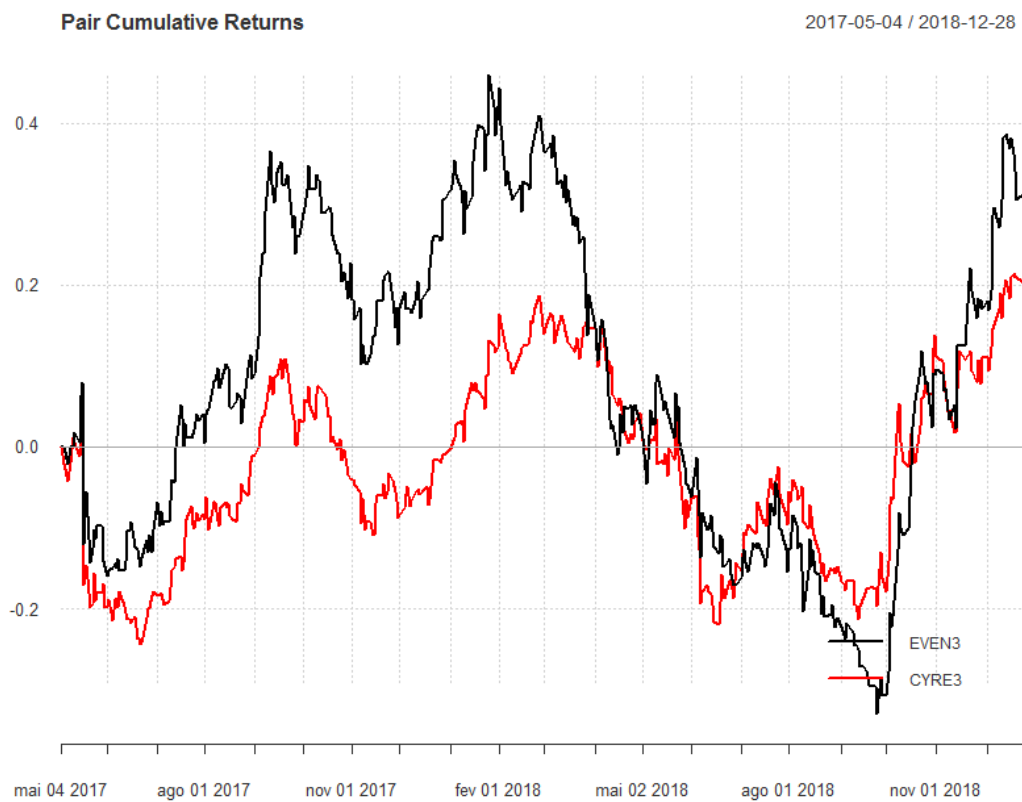
Tabela 7- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos CRDE3 e LSPB3.

	Pairs Trading	PairsTrading Comissão	CRDE3	LPSB3
Retorno anual	0.6589	0.6234	0.0175	-0.4653
Volatilidade	0.1600	0.1596	0.3371	0.5273
<i>Annualized</i> <i>Sharpe</i> (Rf=0%)	4.1189	3.9068	0.0518	-0.8825

Fonte: Elaborado pelo autor.

A quinta combinação, EVEN3 e CYRE, apresentou alta correlação linear para os retornos diários acumulados, conforme Figura 22.

Figura 22- Retornos diários das EVEN3 e CYRE referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.



Na Figura 23 pode ser visto o spread destes pares, e, com 90% de confiança, rejeita-se a hipótese de que a série seja estacionária. A Figura 24 apresenta a série dos spreads normalizada e as 4 linhas referentes às ações para compra e venda.

Quanto aos resultados, Figura 25 e Tabela 8, a metodologia apresentou resultado positivo, bem como suas ações individuais. A CYRE3 apresentou uma volatilidade menor do que a metodologia aplicada, porém, a diferença foi muito baixa.

Figura 23- *Spread* das ações EVEN3 e CYRE calculado no período de treino.



Figura 24- *Spread* normalizado dos ativos EVEN3 e CYRE, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste.

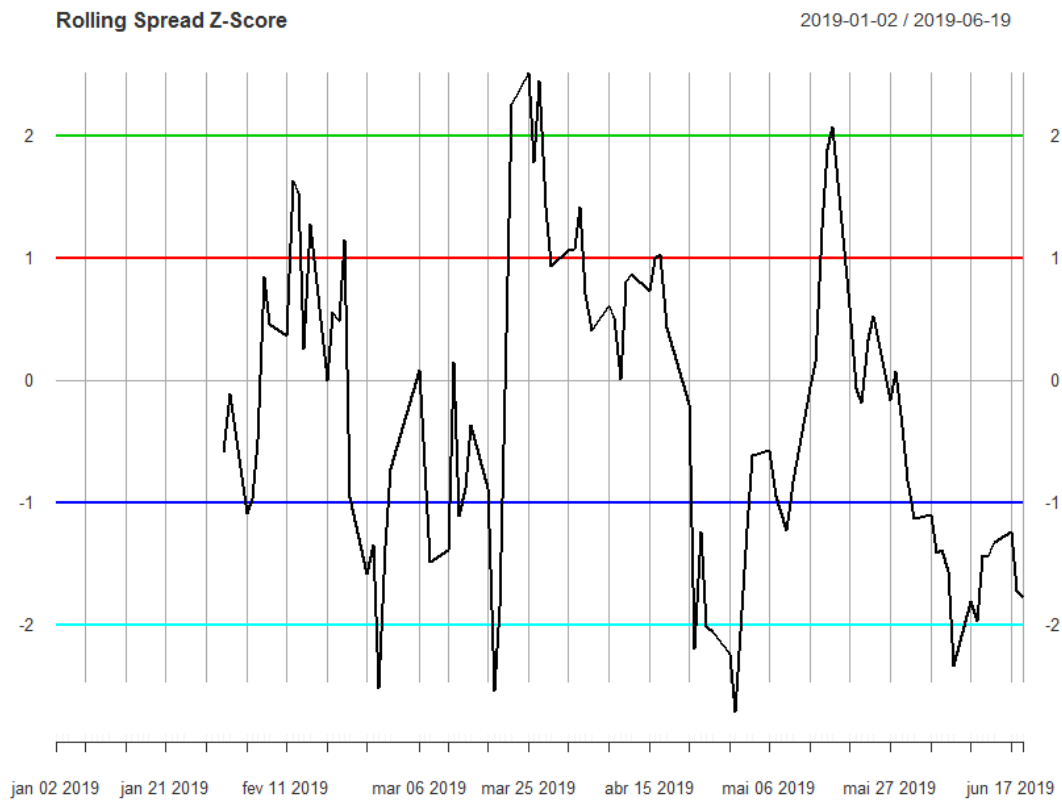


Figura 25- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações EVEN3 e CYRE no período de teste.

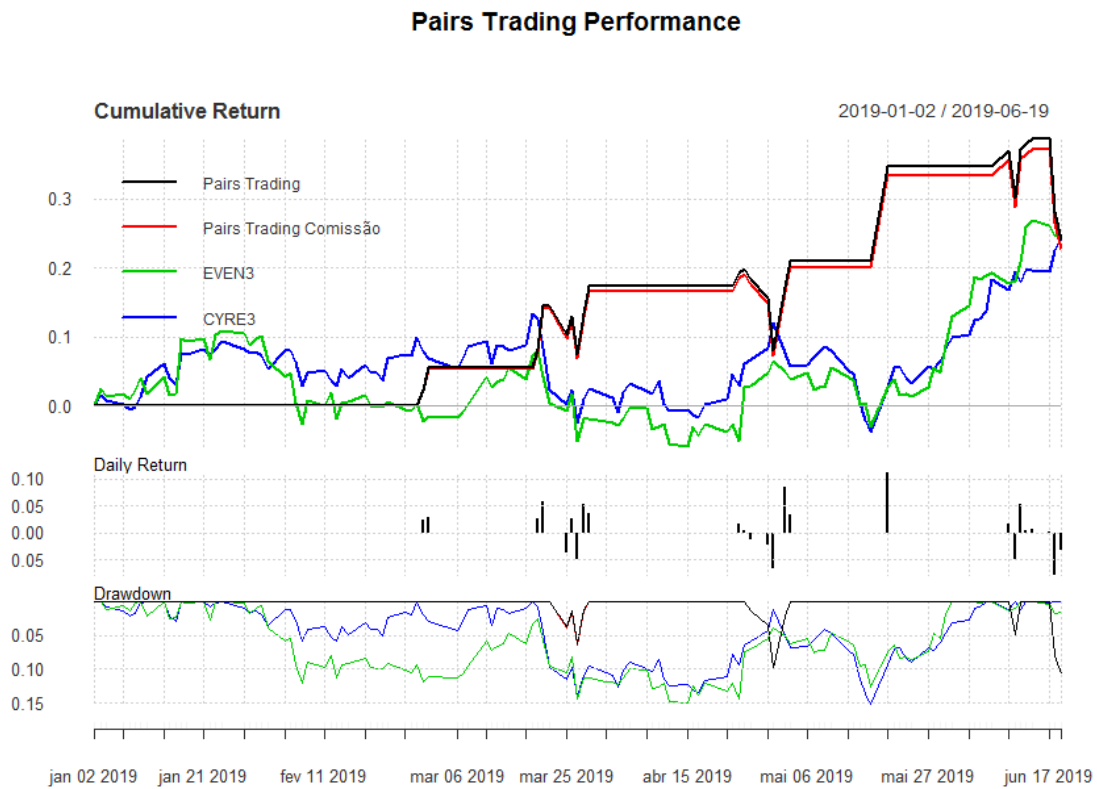


Tabela 8- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos EVEN3 e CYRE3.

	Pairs Trading	PairsTrading Comissão	EVEN3	CYRE3
Retorno anual	0.5966	0.5593	0.6157	0.5994
Volatilidade	0.3412	0.3404	0.3668	0.3219
<i>Annualized Sharpe</i> (Rf=0%)	1.7484	1.6434	1.6786	1.8624

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto o sexto par de ações, HBOR3 e BRPR3, a Figura 26 apresenta o retorno acumulado dos retornos diários de ambas. A Figura 27 apresenta a série do spread destes pares que, com 90% de confiança, rejeita-se a hipótese de que a mesma

estacionária. Os retornos, conforme Figura 29 e Tabela 9, foram positivos. Neste caso, apesar do retorno positivo, a volatilidade encontrada pela metodologia foi extremamente alta em relação as demais.

Figura 26- Retornos diários das HBOR3 e BRPR3 referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.

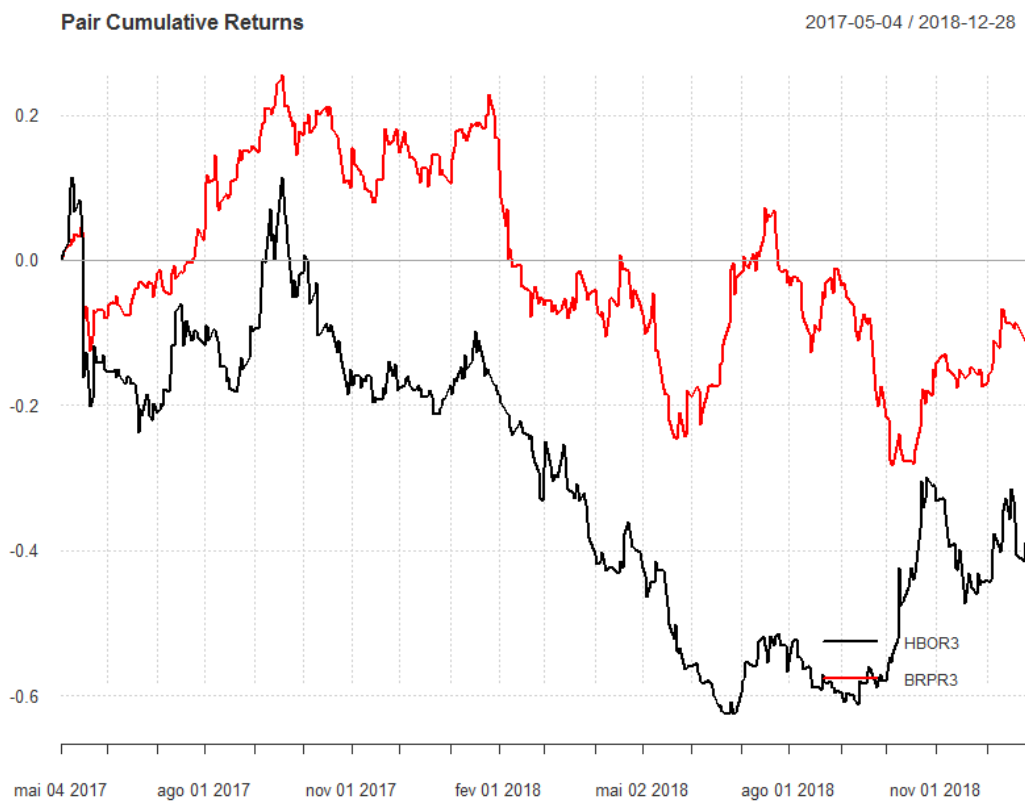


Figura 27- *Spread* das ações HBOR3 e BRPR3 calculado no período de treino.



Figura 28 *Spread* normalizado dos ativos HBOR3 e BRPR3, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste.

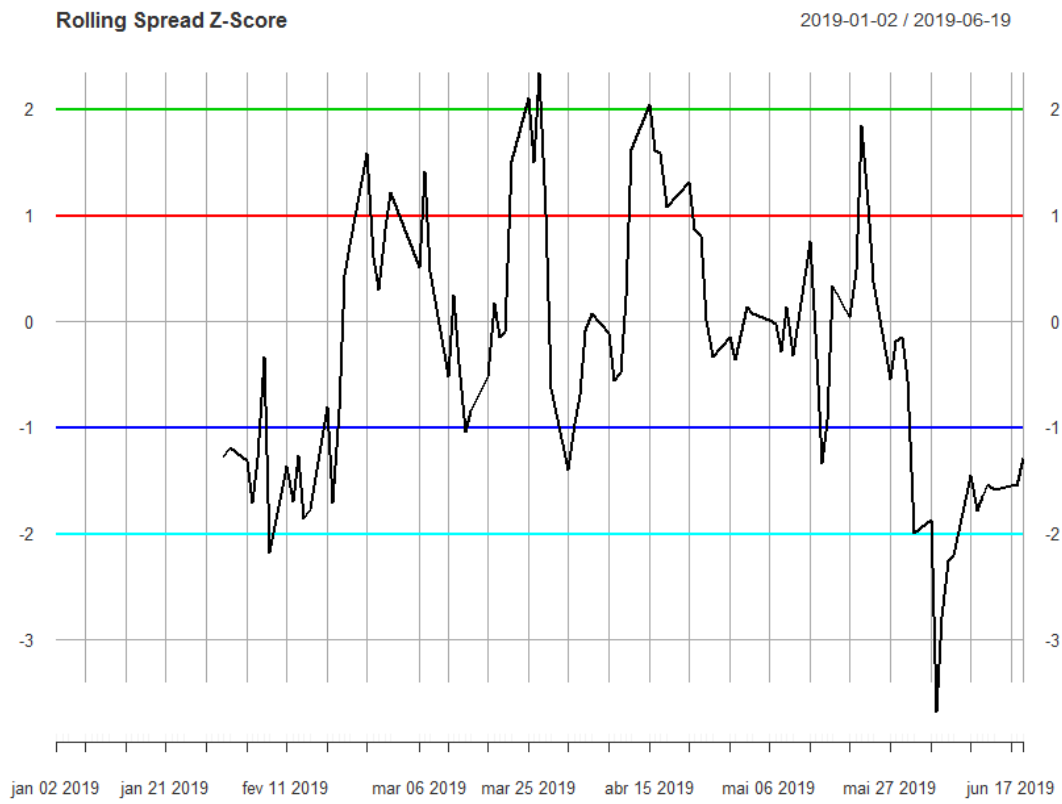


Figura 29- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações HBOR3 e BRPR3 no período de teste.

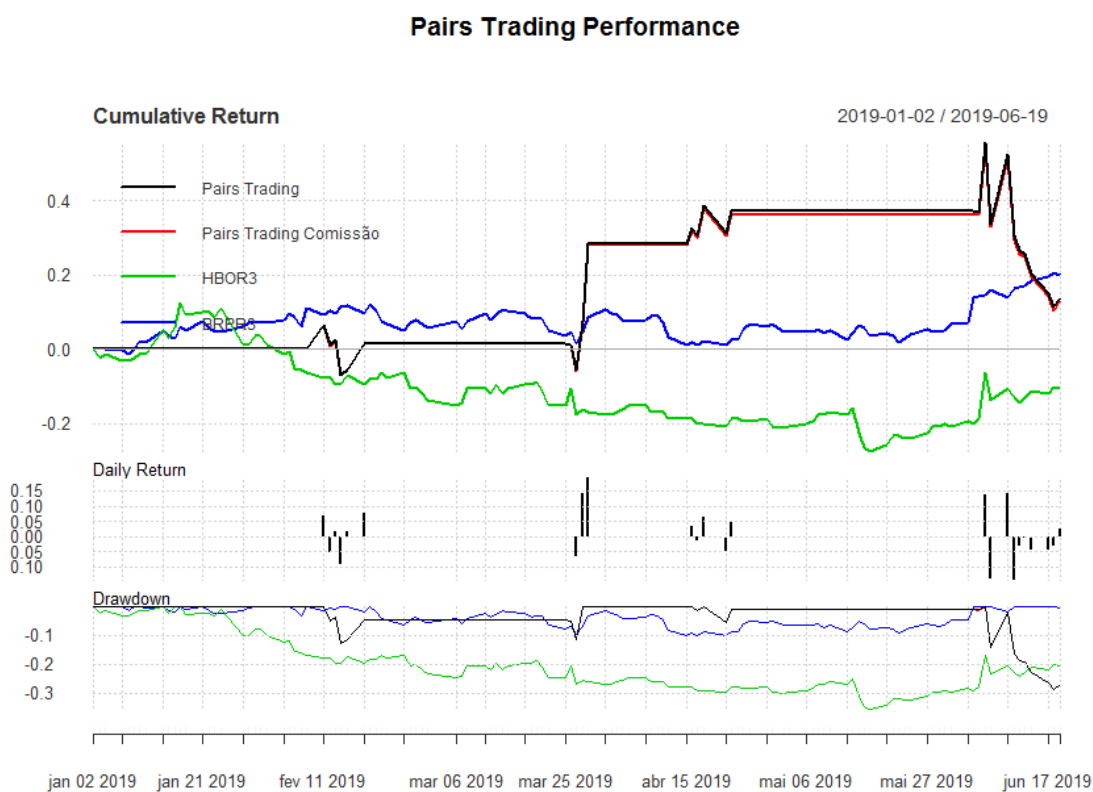


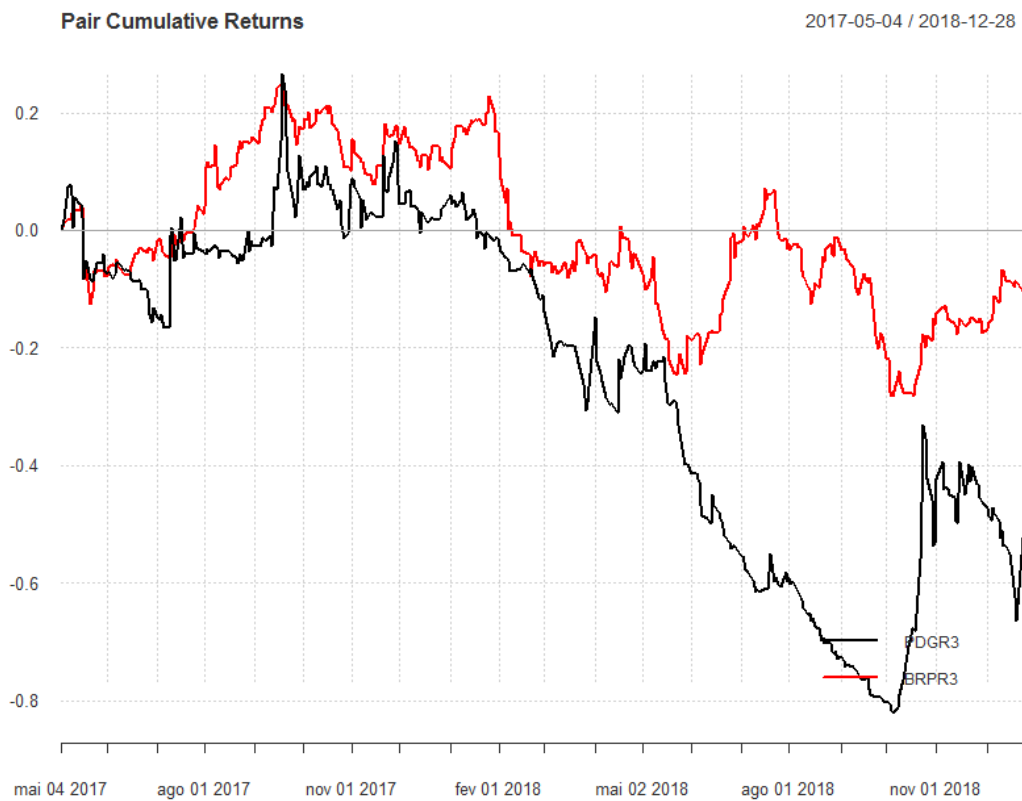
Tabela 9- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos HBOR3 e BRPR3.

	Pairs Trading	PairsTrading Comissão	HBOR3	BRPR3
Retorno anual	0,3305	0,3107	-0,2165	0,4860
Volatilidade	0,6254	0,6251	0,4611	0,2551
<i>Annualized Sharpe</i> (Rf=0%)	0,5284	0,4969	-0,4696	1,9052

Fonte: Elaborado pelo autor.

A sétima combinação de ativos, PDGR3 e BRPR3, assim como a maioria dos pares, também apresentou correlação perante os retornos acumulados diários, Figura 30.

Figura 30- Retornos diários das PDGR3 e BRPR3 referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.



A Figura 31 apresenta a série do spread das ações, do qual, com 90% de confiança, rejeita-se a hipótese de que a série seja estacionária.

Quanto aos resultados, Figura 33 e Tabela 10, pode ser visto que, mesmo sem as séries serem cointegradas, o retorno da metodologia foi positivo e a sua volatilidade também foi baixa.

Figura 31- *Spread* das ações PDGR3 e BRPR3 calculado no período de treino.



Figura 32- *Spread* normalizado dos ativos PDGR3 e BRPR3, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste.

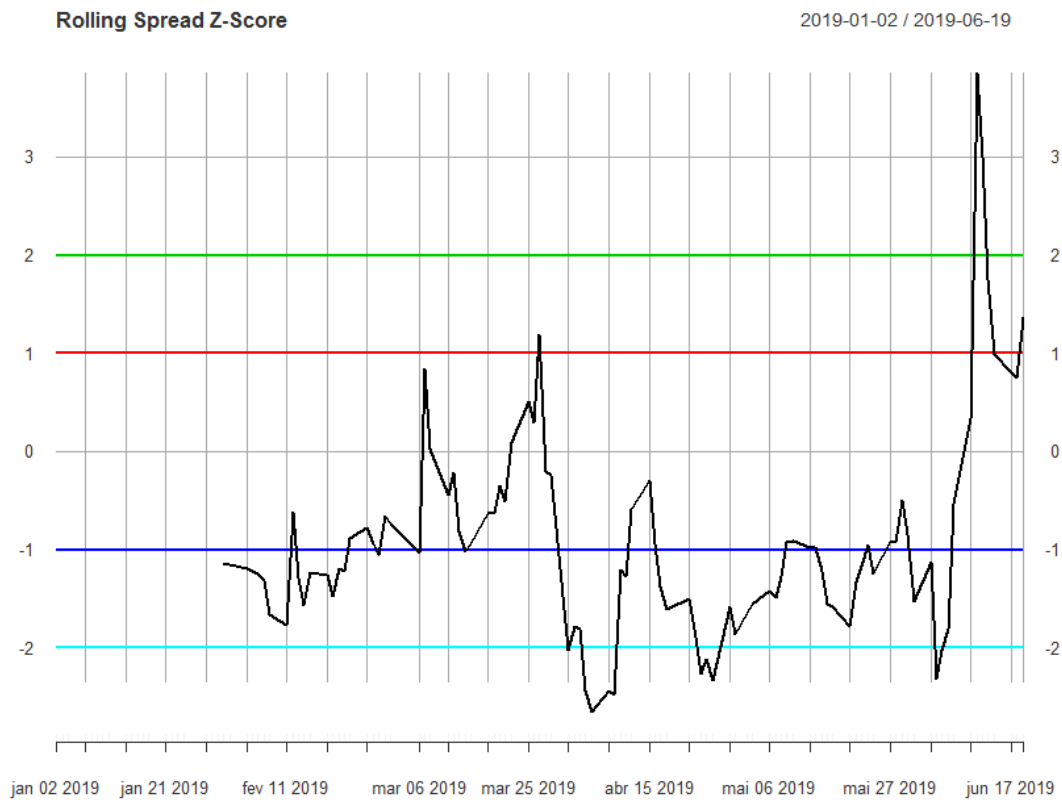


Figura 33- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações PDGR3 e BRPR3 no período de teste.

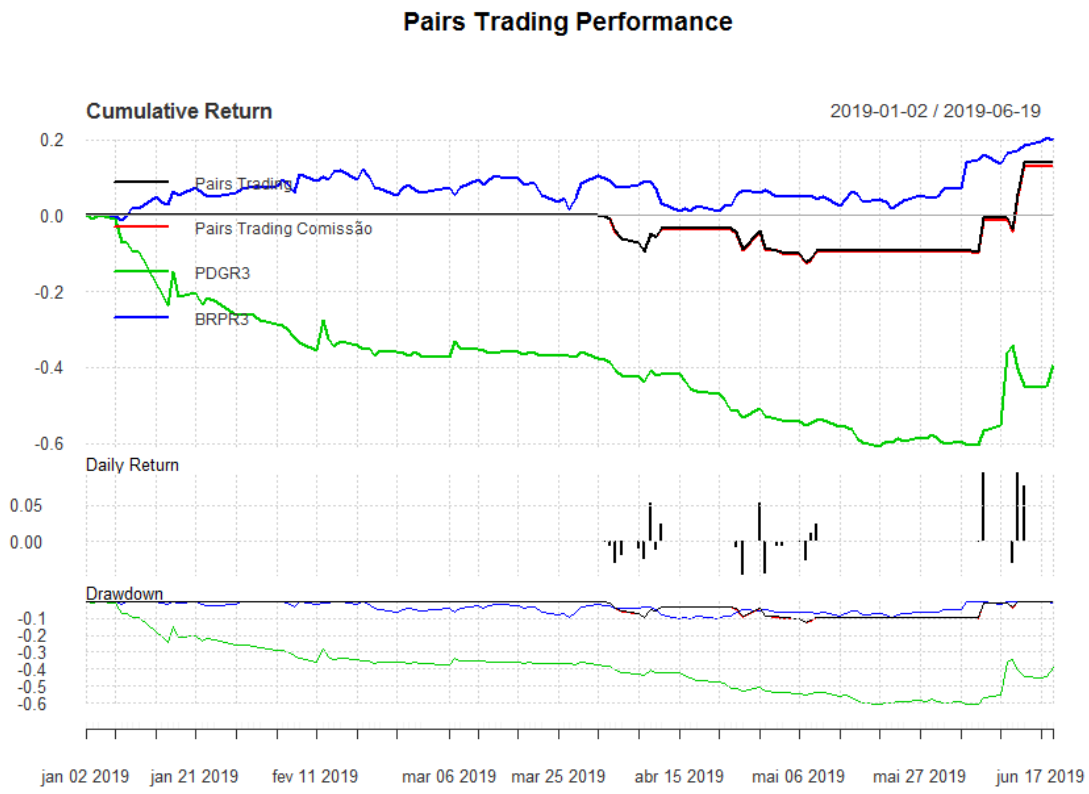


Tabela 10- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos PDGR3 e BRPR3.

	Pairs Trading	PairsTrading Comissão	PDGR3	BRPR3
Retorno anual	0,3288	0,3057	-0,6619	0,4860
Volatilidade	0,2970	0,2974	0,8438	0,2551
<i>Annualized Sharpe (Rf=0%)</i>	1,1069	1,0279	-0,7845	1,9052

Fonte: Elaborado pelo autor.

O oitavo par de ações, PDGR3 e EVEN3, cujo retorno diário acumulado pode ser visto na Figura 34, também apresenta uma correlação mais baixa. Quanto ao *spread* das ações, Figura 35, com 90% de confiança, não rejeita-se a hipótese de que a série seja estacionária.

Quanto aos resultados, Figura 37 e Tabela 11, é possível observar que os retornos da metodologia foi positivo. A volatilidade do retorno da metodologia, em comparação com os ativos individuais, foi consideravelmente mais baixa.

Figura 34- Retornos diários das PDGR3 e EVEN3 referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.

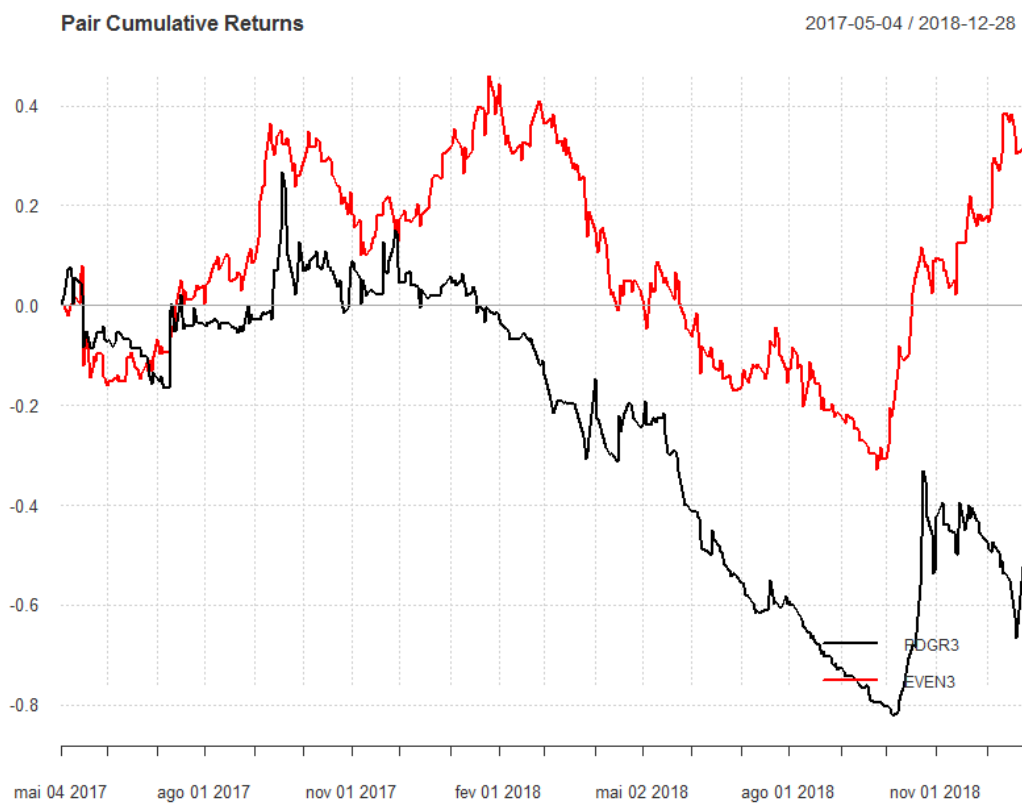


Figura 35- *Spread* das ações PDGR3 e EVEN3 calculado no período de treino.



Figura 36- *Spread* normalizado dos ativos PDGR3 e BRPR3, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste.

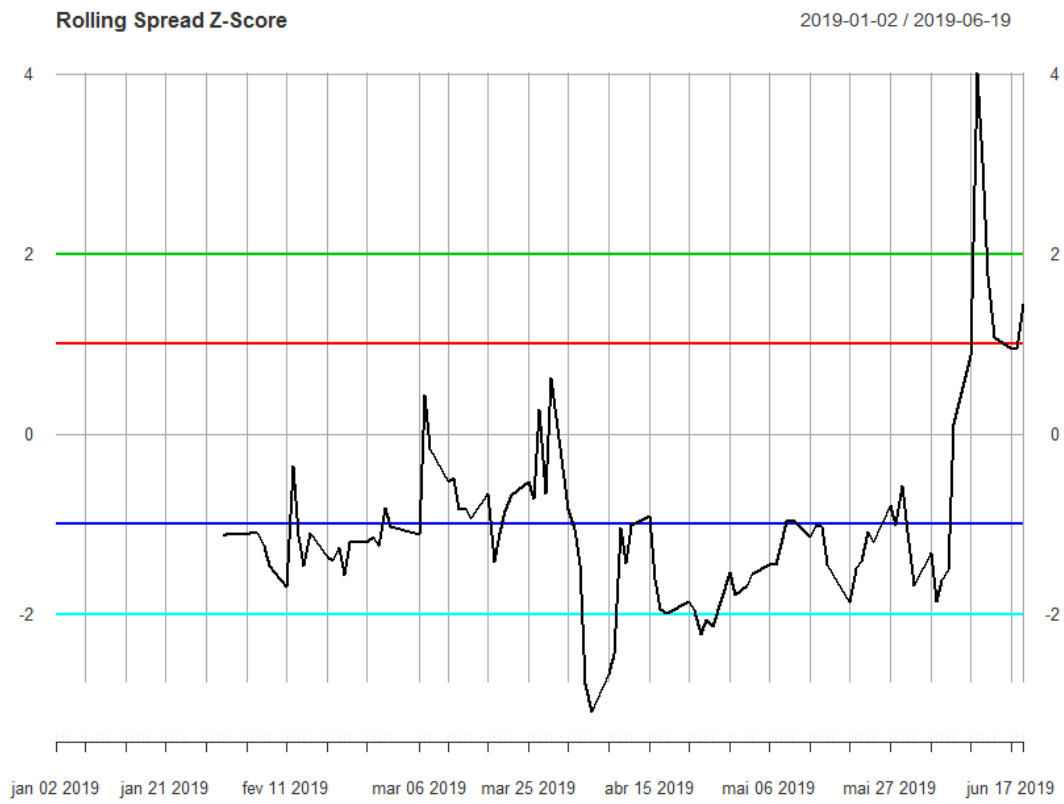


Figura 37- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações PDGR3 e BRPR3 no período de teste.

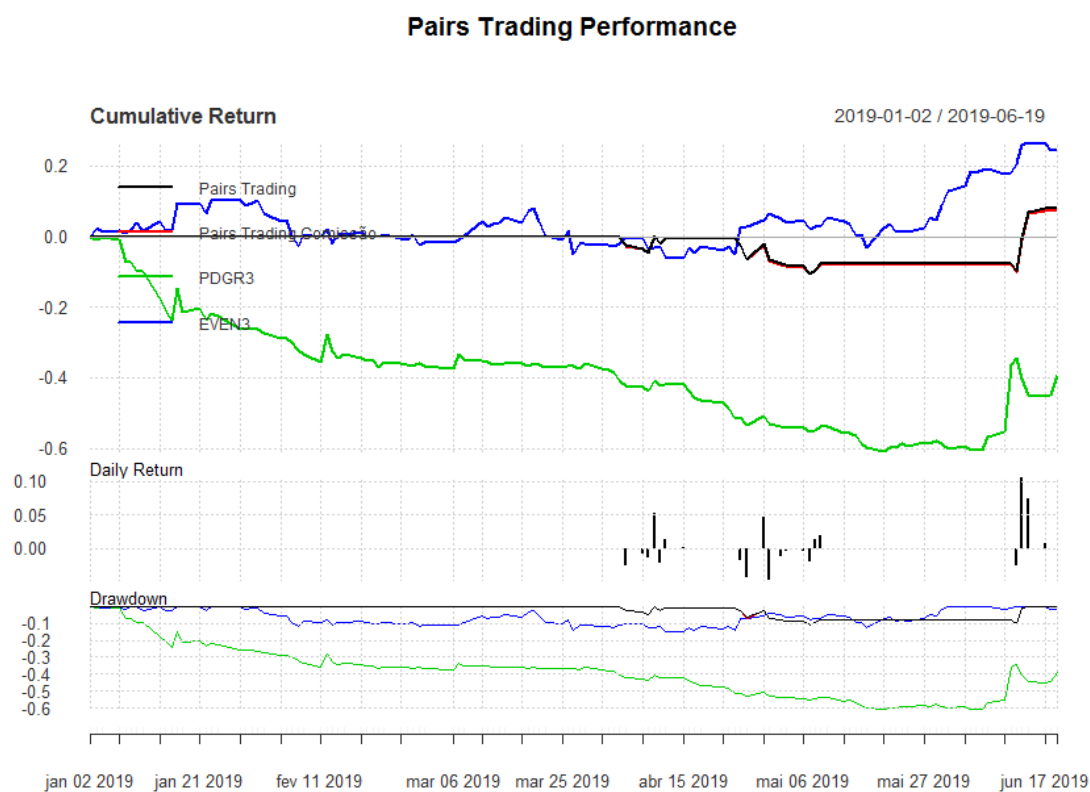


Tabela 11- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos PDGR3 e EVEN3.

	Pairs Trading	PairsTrading Comissão	PDGR3	EVEN3
Retorno anual	0,1801	0,1646	-0,6619	0,6157
Volatilidade	0,2530	0,2537	0,8438	0,3668
<i>Annualized Sharpe (Rf=0%)</i>	0,7117	0,6489	-0,7845	1,6786

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao nono e último par, TCSA3 e BBRK3, apresentou correlação linear baixa entre os retornos diários acumulados, Figura 38. Quanto a estacionariedade do spread das ações, rejeita-se, com 90% de confiança, que a série seja estacionária.

Figura 38- Retornos diários das TCSA3 e BBRK3 referentes ao período de treino, 04 de maio de 2017 até dezembro de 2018.

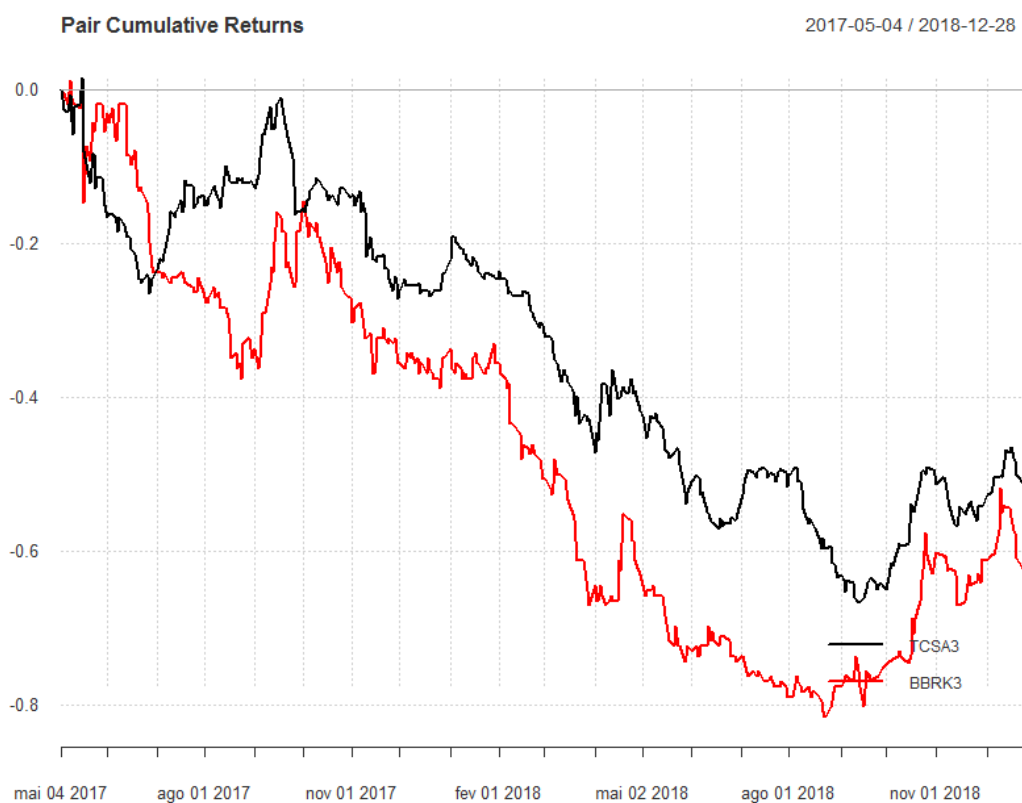


Figura 39- *Spread* das ações TCSA3 e BBRK3 calculado no período de treino.



Figura 40- *Spread* normalizado dos ativos TCSA3 e BBRK3, com as linhas para as ações de compra e venda, no período de teste.

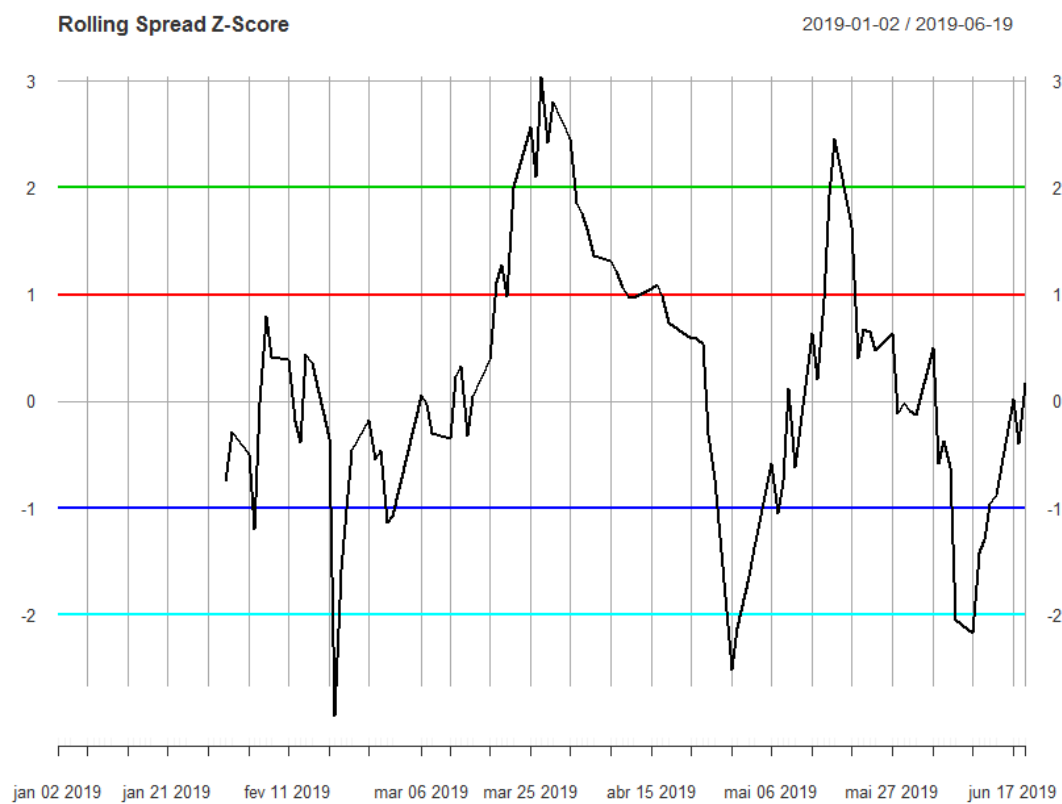


Figura 41- Performance do Modelo 'pairs trading' referentes as ações TCSA3 e BBRK3 no período de teste.

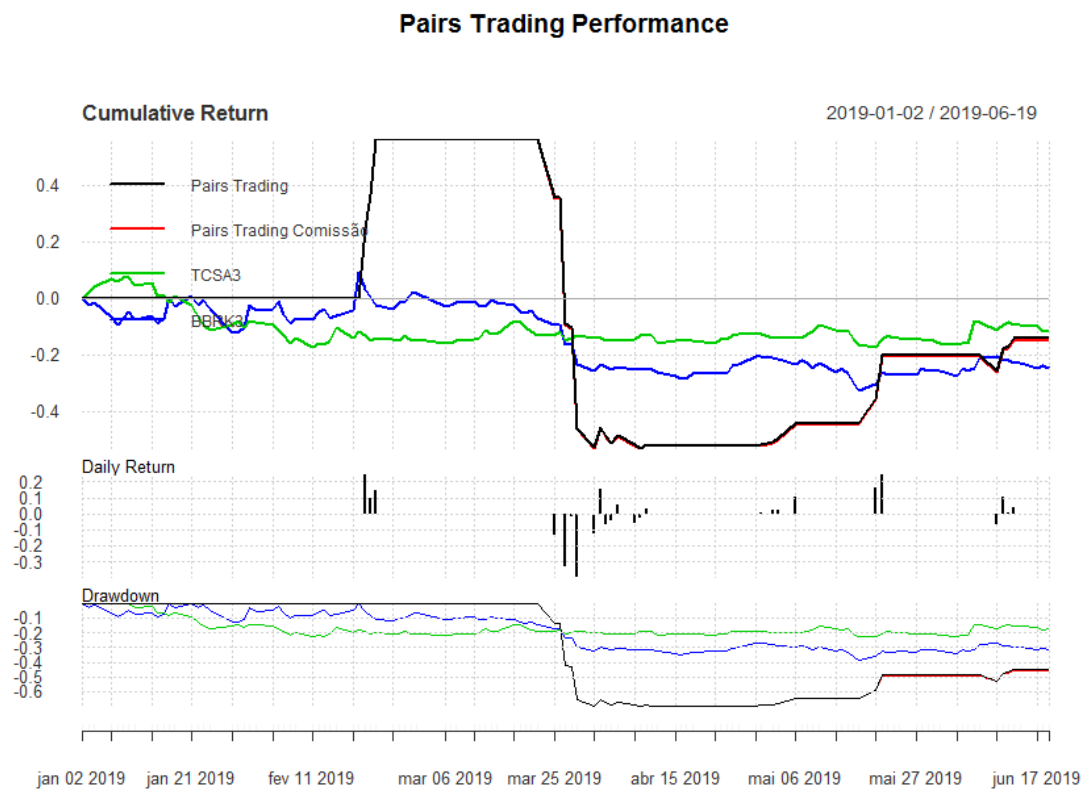


Tabela 12- Resultados das métricas de avaliação para a metodologia *pairs trading* nos ativos TCSA3 e BBRK3.

	Pairs Trading	PairsTrading Comissão	TCSA3	BBRK3
Retorno anual	-0,2809	-0,2962	-0,2285	-0,4636
Volatilidade	1,0899	1,0895	0,3292	0,5002
<i>Annualized</i> <i>Sharpe</i> (Rf=0%)	-0,2577	-0,2719	-0,6942	0,9269

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados das simulações, visto na Figura 41 e Tabela 12, mostram que foi o único par com retorno negativo. Além disso, a volatilidade neste caso foi extremamente alta. Porém, vale destacar que em alguns pontos a metodologia se saiu de forma satisfatória. Neste caso, um acréscimo no algoritmo para um *stop loss* seria de grande valia, ou seja, um algoritmo para que, quando começasse a perder muito de formas seguidas, parasse as operações.

6.2 Resultados Gerais

A Tabela 13 apresenta os resultados dos retornos dos ativos de forma resumida, evidenciando quais eram as ações, se a cointegração se sucedeu de forma positiva, se o retorno foi positivo, e, além disso, se os retornos seriam aceitáveis para os investimentos dos fundos de pensão.

Tabela 13- Resultados de todos os pares de ativos e as metas de cada metodologia.

	Ativos 1	Ativos 2	Retorno Anual	Retorno Anual Comissão	Volatilidade (Pairs trading)	Cointegração (Sazon. do spairs)	Acima da meta atuarial (5%-5,65%)
1	ALSC3	IGTA3	0,0931	0,0743	0,1584	Sim	Sim
2	BBRK3	HBOR3	0.1314	0.1072	0,2217	Sim	Sim
3	BBRK3	RSID3	0.0611	0.0475	0,2147	Não	Sim
4	CRDE3	LPSB3	0.6589	0.6234	0,1600	Não	Sim
5	EVEN3	CYRE3	0.5966	0.5593	0,3412	Não	Sim
6	HBOR3	BRPR3	0,3305	0,3107	0,6254	Não	Sim
7	PDGR3	BRPR3	0,3288	0,3057	0,2970	Não	Sim
8	PDGR3	EVEN3	0,1801	0,1646	0,2530	Sim	Sim
9	TCSA3	BBRK3	-0,2809	-0,2962	1,0899	Não	Não
Total			0,13032	0,11182			Sim

Em suma, a Metodologia atingiu retorno suficiente para superar a meta atuarial dos planos Petros e Previ, mesmo sem ter todos os pares cointegrados. Em média, o retorno da metodologia sem a comissão é de cerca de 13% ao ano, enquanto que o

retorno com a taxa de comissão é de aproximadamente 11%. Também é importante considerar a baixa volatilidade da estratégia perante as ações individuais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo aplicar a metodologia “*Pairs trading*” no cenário acionário brasileiro, com o intuito de auxiliar os fundos de pensão no que concerne suas carteiras de investimento para atender a expectativa da meta atuarial. Quanto aos resultados, a metodologia utilizada apresentou resultado muito satisfatório, pois, em média, obteve um retorno maior do que o apresentado pela Previ em 2019 com seus investimentos em renda variável. O modelo também alcançaria a meta atuarial dos dois fundos de pensão analisados. Além disso, apenas um par, das nove analisadas, apresentou retorno negativo. Porém, os *spreads* desta série não podem ser considerados cointegrados, visto que a mesma não se tornou estacionária. Também vale ressaltar que, apenas três pares de todas as analisadas atenderam tal expectativa e apresentaram retorno positivo. Outro ponto importante, é acerca da segurança da metodologia, visto que, em muitos casos, os retornos de ambas ações analisadas foram negativos, e mesmo com tal adversidade a metodologia apresentou bom desempenho, com retornos positivos. Com isso, entende-se que o *pairs trading* corresponde a uma metodologia segura e eficaz, que poderia ser utilizada para compor uma carteira de investimento de uma Entidade Fechada de Previdência Complementar para atingir a meta atuarial estipulada pela sua política interna de investimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS ENTIDADES FECHADAS DE PREVIDÊNCIA COMPLEMENTAR. Disponível em: < <http://www.abrapp.org.br/>>. Acesso em 22 de maio de 2019.

ANDRADE, S.; DI PIETRO, Vadim; SEASHOLES, M. Understanding the profitability of pairs trading. **Unpublished working paper, UC Berkeley, Northwestern University**, 2005.

BEKAERT, Geert; HARVEY, Campbell R. Time-varying world market integration. the **Journal of Finance**, v. 50, n. 2, p. 403-444, 1995.

BM&FBOVESPA A nova Bolsa. **Introdução ao Mercado de Capitais**, mai 2010. BREIMAN,

BRASIL, Constituição (1988). Emenda constitucional nº 64, de 4 de fevereiro de 2010. **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL.**

CAIXA DE PREVIDÊNCIA DOS FUNCIONÁRIOS DO BANCO DO BRASIL. Disponível em: < <http://www.previ.com.br>>. Acesso em 22 de maio de 2019.

CALDEIRA, André Machado; SOUZA, Reinaldo Castro; MACHADO, Maria Augusta Soares. Identificação automática das ordens dos modelos GARCH utilizando redes neurais. **Engevista**, v. 11, n. 2, 2009.

CROUHY, Michel; GALAI, Dan; MARK, Robert. Fundamentos da gestão de risco. **Rio de Janeiro: Qualitymark**, 2008.

DE CAMARGOS, Marcos Antônio; BARBOSA, Francisco Vidal. Teoria e evidência da eficiência informacional do mercado de capitais brasileiro. **Caderno de pesquisas em administração, São Paulo**, v. 10, n. 1, 2003.

DE FREITAS PARREIRAS, Luiz Paulo Rodrigues et al. **Arbitragem Estatística e Inteligência Artificial**. 2007. Tese de Doutorado. Tese m. sc, Universidade de São Paulo, São Paulo.

DÍAZ-URIARTE, Ramón; DE ANDRES, Sara Alvarez. Gene selection and classification of microarray data using random forest. **BMC bioinformatics**, v. 7, n. 1, p. 1, 2006.

DONI, MARCELO VIANA. Análise de cluster: métodos hierárquicos e de Particionamento. **São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.**

EVERITT, B. S.; LANDAU, S.; LEESE, M. Cluster Analysis (Edward Arnold, London). 1993.

FAMA, Eugene F. Efficient capital markets: II. **The journal of finance**, v. 46, n. 5, p. 1575-1617, 1991.

FERNANDEZ, Diego. Pairs trading analysis with R. **Udemy**. Disponível em: <<https://www.udemy.com/pairs-trading-analysis-with-r/>>. Acesso em 20 de maio de 2019.

FUNDAÇÃO PETROBRAS DE SEGURIDADE SOCIAL. Disponível em: <www.petros.com.br>. Acesso em 22 de maio de 2019.

GARCIA, MARCIO GP; HARVEY, CAMPBELL R. The Role of Capital Markets in Economic Growth. 1995.

GATEV, Evan; GOETZMANN, William N.; ROUWENHORST, K. Geert. Pairs trading: Performance of a relative-value arbitrage rule. **Review of Financial Studies**, v. 19, n. 3, p. 797-827, 2006.

GOETZMANN, William et al. **Pairs trading: Performance of a relative value arbitrage rule**. Yale School of Management, 1998.

GIAMBIAGI, F; TAFNER, P. **Demografia a ameaça invisível: O dilema previdenciário que o Brasil se recusa a encarar**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2010.

GUNDERSEN, Ruben Joakim. **Statistical arbitrage: high frequency pairs trading**. 2014. Tese de Doutorado. NORWEGIAN SCHOOL OF ECONOMICS.

HALL, Mark et al. The WEKA data mining software: an update. **ACM SIGKDD explorations newsletter**, v. 11, n. 1, p. 10-18, 2009.

HOGAN, Steve et al. Testing market efficiency using statistical arbitrage with applications to momentum and value strategies. **Journal of Financial economics**, v. 73, n. 3, p. 525-565, 2004.

LAMONT, Owen A.; THALER, Richard H. Anomalies: The law of one price in financial markets. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 17, n. 4, p. 191-202, 2003.

LIN, Yan-Xia; MCCRAE, MICHAEL; GULATI, Chandra. Loss protection in pairs trading through minimum profit bounds: A cointegration approach. **Advances in Decision Sciences**, v. 2006, 2006.

MAKRIDAKIS S, WHEELWRIGHT S.C, HYNDMAN R.J. **Forecasting methods and applications**. 3rd ed. New York: Wiley; 1998.

METZ, Jean; MONARD, Maria Carolina. Clustering hierárquico: uma metodologia para auxiliar na interpretação dos clusters. 2009.

MESA-LAGO, C. **As reformas de previdência na América Latina e seus impactos nos princípios de seguridade social**. 23. ed. Brasília: Ministério da Previdência Social, 2007. Tradução de: Secretaria de políticas de Previdência Social.

MINISTÉRIO DA PREVIDÊNCIA SOCIAL. Disponível em: <www.previdencia.gov.br/>. Acesso em 20 de maio de 2019.

CHOUHY, M. GALAI, D; MARK, R. **Fundamentos da Gestão de Risco**. Qualitymark. Rio de Janeiro: 2008.

MOREIRA, Pedro Henrique Vianna et al. **Aplicações de séries temporais na previsão da média mensal da taxa de câmbio do real para o dólar comercial de compra usando o modelo de Holt**, 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_stp_115_755_16795.pdf>.

Acesso em: julho de 2016.

MORRETIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Previsão de séries temporais**. 2. ed. São Paulo: Atual Editora, 1987.

NATH, Purnendu. High frequency pairs trading with us treasury securities: Risks and rewards for hedge funds. **Available at SSRN 565441**, 2003.

NUNES, Maurício S.; DA COSTA JR, Newton CA; MEURER, Roberto. A relação entre o mercado de ações e as variáveis macroeconômicas: Uma análise econométrica para o Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 59, n. 4, p. 585-607, 2005.

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SANDER, Jörg et al. Automatic extraction of clusters from hierarchical clustering representations. In: **Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining**. Springer Berlin Heidelberg, 2003. p. 75-87.

SARLO NETO, Alfredo et al. O diferencial no impacto dos resultados contábeis nas ações ordinárias e preferenciais no mercado brasileiro. **Revista Contabilidade & Finanças**, v. 16, n. 37, p. 46-58, 2005.

SHADBOLT, Jimmy; TAYLOR, John Gerald. **Neural Networks and the Financial Markets: Bpredicting, Combining, and Portfolio Optimisation**. Springer Science & Business Media, 2002.

THOMAIDIS, Nikos S.; KONDAKIS, Nick; DOUNIAS, George D. An intelligent statistical arbitrage trading system. In: **Hellenic Conference on Artificial Intelligence**. Springer Berlin Heidelberg, 2006. p. 596-599.

TUBINO, D. F. **Manual de Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 2000.

VIDYAMURTHY, Ganapathy. **Pairs Trading: quantitative methods and analysis**. John Wiley & Sons, 2004.

WERNER, Liane; RIBEIRO, José Luis Duarte. Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais. **Revista Gestão & Produção**, v. 10, n. 1, p. 47-67, 2003.

YAHOO FINANCE. Disponível em: <<https://finance.yahoo.com/>>. Acesso em: 20 maio 2019.