

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Administração
Departamento de Ciências Administrativas

Martin Pontuschka

A Estratégia de Pares Aplicada a Dados de Alta Frequência no
Mercado Acionário Brasileiro

Porto Alegre

2012

Martin Pontuschka

**Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Departamento de Ciências
Administrativas da Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, como requisito parcial
para a obtenção do grau de Bacharel em
Administração.**

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Perlin

Porto Alegre

2012

Martin Pontuschka

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Ciências Administrativas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Administração.

Conceito final:

Aprovado em dede.....

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. – Instituição

Orientador – Prof. Dr. – Instituição

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, por seu exemplo de amor e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me capacitou a concluir esta etapa.

Agradeço a toda minha família pelo amor e apoio incondicionais.

Agradeço ao professor Dr. Marcelo Perlin por sua paciência, atenção e amizade.

RESUMO

Neste trabalho foi analisado o desempenho da estratégia de pares em dados de alta frequência no mercado acionário brasileiro. A amostra utilizada foi composta pelos preços históricos, na periodicidade de 5 minutos, dos 20 ativos de maior liquidez da bolsa brasileira. O período de análise foi restrito aos dias entre 01 de janeiro de 2008 e 31 de dezembro de 2011. Foram utilizadas 65.406 observações para cada ativo, que totalizaram mais de um milhão e trezentas mil observações na base de dados. Os objetivos deste trabalho são, comparar o desempenho deste método de negociação em relação à hipótese de eficiência de mercado na forma fraca proposta por Fama (1970) e expandir a proposta de Perlin(2007) que concluiu que as ineficiências de mercado são encontradas em maior quantidade nos dados de maior frequência. Nos resultados da estratégia não foram encontrados betas estatisticamente significativos, o que corrobora com as evidências de trabalhos anteriores a respeito do caráter neutro da estratégia de pares em relação ao mercado. Também não foram encontrados alphas estatisticamente significativos. Portanto, apesar da rentabilidade da estratégia ser, em média, superior a do mercado, se conclui que os resultados não apresentam evidências para rejeitar a hipótese de eficiência de mercado na forma fraca. Para expandir a proposta de Perlin(2007) foi comparado o desempenho da estratégia de pares nos dados de alta frequência (intradiários), com o desempenho da estratégia nos dados diários. Os resultados encontrados apontam evidências que corroboram as conclusões de Perlin(2007).

Palavras-chave: Pairs trading, high frequency trading, eficiência de mercado

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Adoção de sistemas de trading eletrônico nas bolsas de valores por classe de ativos.	20
Figura 2. Gráfico dos preços e volume de negociação do E-Mini no dia 6 de maio de 2010.....	23
Figura 3. Ativos que compõem a base de dados.....	27
Figura 4. Rentabilidade da carteira de mercado	32
Figura 5. Ilustração do conceito de drawdown máximo.....	33
Figura 6. Gráfico 3D dos índices de Sharpe dos testes com dados intradiários.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista dos ativos	28
Tabela 2. Pairs trading nos dados intradiários.....	36
Tabela 3. Pairs trading nos dados diários.	39

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

CAPM – Capital Asset Pricing Model

HFT – High Frequency Trading

SEC – U. S. Securities and Exchange Commission

CFTC – U.S. Commodity Futures Trading Commission

S&P500 – Standard & Poor's 500

SUMÁRIO

1. Definição do tema	11
2. Justificativa	14
3. Revisão Teórica	15
3.1 MODELO CAPM E COEFICIENTE BETA	15
3.2 HIPÓTESE DE EFICIÊNCIA DE MERCADO	16
3.3 REVISÃO DOS TESTES EMPÍRICOS APLICADOS À HIPÓTESE DE EFICIÊNCIA DE MERCADO ...	18
3.4 <i>HIGH FREQUENCY TRADING</i>	19
3.4.1 Incertezas a respeito do HFT	21
3.4.1.1 Flash Crash	21
3.4.1.2 O caso do Knight Capital Group	23
4. Objetivos	25
4.1 OBJETIVO GERAL	25
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
5. Procedimentos Metodológicos	26
5.1 BASE DE DADOS	26
5.2 METODOLOGIA DA PESQUISA	28
5.3 ESCOLHA DOS PARES	28
5.4 CÁLCULO DA RENTABILIDADE LÍQUIDA DA ESTRATÉGIA	30
5.5 CÁLCULO DOS RETORNOS EXCESSIVOS	31
5.6 CÁLCULO DO <i>DRAWDOWN</i> MÁXIMO	32
5.7 ÍNDICE DE SHARPE	33
6. Resultados	35
6.1 PAIRS TRADING	35
6.2 COMPARATIVO ENTRE OS ÍNDICES DE SHARPE	40
7. Conclusão	42
Referências	44

1. Definição do tema

Uma discussão recorrente no meio acadêmico é sobre a possibilidade de estratégias de investimentos alcançarem retornos financeiros acima da média do mercado no longo prazo. A raridade de se encontrar estratégias deste tipo corrobora com a principal e mais popular teoria financeira, a hipótese de eficiência dos mercados proposta por Fama (1970).

Segundo Fama (1970), os preços dos ativos se comportariam de maneira imprevisível e, portanto, suas futuras oscilações seriam impossíveis de serem previstas. A conclusão dessa suposição é de que seja impossível se auferir retornos acima do retorno médio do mercado no longo prazo. A hipótese de eficiência de mercado será vista com maiores detalhes na seção 3.

Uma das maneiras de se testar a validade da hipótese de eficiência dos mercados é através da observação de estratégias de investimento que produzam retornos superiores aos do mercado. A estratégia de pares, ou pairs trading, é uma estratégia de investimento muito popular entre os agentes do mercado. Segundo Gatev (2006), este método de negociação foi formulado por volta dos anos 80, quando o investidor de Wall Street Nunzio Tartaglia reuniu um grupo de matemáticos, físicos, e profissionais das ciências da computação para montar sistemas de negociação sistemáticos, ou seja, sem o envolvimento de julgamento humano. Uma das estratégias que surgiu desse projeto é a de pairs trading, que envolvia a compra de uma posição (*long*) e no mesmo momento a venda de uma posição (*short*) equivalente. O resultado final dessa operação deve proceder somente da relação entre os preços dos dois ativos e não da direção do mercado, por isso Pairs trading é considerado um método de negociação não direcional. Vidyamurthy (2004) traz uma ampla revisão da estratégia, inclusive apresentando outras variações de pairs trading que também são utilizadas no mercado.

Desde a sua elaboração, a estratégia tem sido utilizada nos mercados, e devido a sua simplicidade e facilidade de modelagem computacional tem se popularizado ainda mais na última década. A sua popularização se deve tanto pela utilização por parte dos agentes de mercado, como pela pesquisa no meio acadêmico. O artigo de maior referência no assunto é o de Gatev et al. (2006), que estuda o desempenho da estratégia em dados diários ao longo de 40 anos, de 1962 até o ano 2002. Seus resultados atestam que durante esse período a rentabilidade média de Pairs Trading foi duas vezes superior ao benchmark utilizado

(S&P500), com um risco 45% menor do que o que foi apresentado por esse índice de mercado.

No Brasil existem diversos estudos que testam a eficiência de Pairs Trading no mercado financeiro. Perlin (2007) é uma das obras de referência no assunto. Ele testa a estratégia nas 100 ações com maior liquidez da BOVESPA, durante os anos de 2000 a 2006. As frequências dos dados utilizados foram: Diários, semanais e mensais. Ele conclui que a estratégia apresentou um bom desempenho no período testado, com melhores resultados nas cotações de maior frequência.

É importante que seja salientado que apesar da popularização deste método de negociação há uma escassez de trabalhos que analisem os resultados dessa estratégia nos dados intradiários (intraday), tanto no Brasil, como no exterior. Foram encontrados apenas três trabalhos que abordam esse assunto na frequência especificada.

Nath (2003) que testou a estratégia Long-Short nos dados intraday no mercado de títulos do governo Norte Americano e obteve desempenho superior aos benchmarks analisados, principalmente na comparação retorno/risco (Índice de Sharpe). Bowen et al.(2010) analisaram pairs trading em dados de alta frequência no mercado acionário de Londres. Foi documentada a existência de alta sensibilidade dos retornos da estratégia em relação aos custos e em relação a velocidade de execução dos negócios. Também foi identificado um padrão nos retornos da estratégia, onde a maior parte deles é realizada na primeira e na última hora de negociação. Dunis et al.(2010) testaram pairs trading em dados intradiários de 5 minutos, 10 minutos, 20 minutos, 30 minutos e 60 minutos nas ações do índice Euro Stoxx 50 no período de 3 de julho de 2009 a 17 de novembro de 2009. Também foram usados dados diários do mesmo índice no período de 3 de janeiro de 2000 a 17 de novembro de 2009. Através desses testes eles compararam os Índices de Sharpe das estratégias nos dados de diferentes frequências. O método de negociação utilizado no artigo produziu um Índice de Sharpe médio de 3, para as estratégias com os dados de alta frequência, e Índice de Sharpe de 1,3 para a estratégia nos dados diários.

O parágrafo anterior apresentou estudos que testaram a estratégia de pares em dados de alta frequência nos mercados de outros países. No Brasil não foram encontrados registros de estudos deste tipo. É necessário salientar a importância de se analisar a estratégia de pares à luz das inovações tecnológicas que possibilitam e popularizam estratégias de alta

frequência. O próximo parágrafo buscará mostrar por que essa frequência de dados deve ser considerada na análise do mercado financeiro atual.

Pairs trading busca distorções, ou ineficiências de curto prazo nos preços e Aldridge(2010) afirma que as ineficiências de mercado são encontradas em quantidade mais significativa nos dados de maior frequência do que em relação aos dados de menor frequência (i.e. dados semanais, mensais, etc.). Ela chegou a essa conclusão ao utilizar a mesma metodologia de Lo e Mackinlay (1989). Estes autores verificaram que a hipótese de caminho aleatório é fortemente rejeitada nos retornos semanais do mercado acionário americano no período de 1962 a 1985. Dessa forma, eles concluíram que os mercados, nesta frequência de dados, não eram eficientes como afirma a hipótese de eficiência de mercado. Aldrige (2010) também destaca que o principal diferencial dos dados de alta frequência é o potencial de obtenção de um maior Índice de Sharpe quando na comparação com cotações de menor frequência. Ou seja, por possibilitar um número maior de observações, o potencial de retorno dos dados intradiários é amplamente superior quando comparado com os dados diários, ver Aldridge (2010).

Portanto, o presente estudo buscará testar o desempenho de pairs trading no mercado acionário brasileiro em dados de alta frequência. Dessa forma, também se continuará a proposta de Perlin (2007) e serão estendidas as suas conclusões em relação às ineficiências de mercado aos dados de frequência intradiária. A proposta de estudo do presente trabalho se aproveitará da situação atual do desenvolvimento do mercado brasileiro e do avanço tecnológico que possibilitam testar estratégias com maior velocidade de negociação e que utilizam dados de maior frequência.

2. Justificativa

Pairs Trading é uma estratégia popular entre os investidores, e acredita-se que este trabalho colaborará com os agentes de mercado ao testar, de forma pioneira, o desempenho desta regra de negociação em dados de alta frequência no mercado acionário brasileiro. Os resultados deste trabalho também podem ser utilizados como referência para o desenvolvimento de novas estratégias em dados de alta frequência.

Além da utilidade prática destes resultados, as conclusões deste trabalho servirão para colaborar com a discussão acadêmica que permeia o mercado financeiro. Elas poderão ser utilizadas com o intuito de colaborar com a discussão a respeito da eficiência do mercado brasileiro. Este estudo também proporcionará a continuação da proposta de Perlin (2007). De forma mais específica, na sua conclusão de que as ineficiências de mercado aparecem em maior quantidade nos dados financeiros de maiores frequências.

Portanto, tendo em vista a importância do assunto para os profissionais da área financeira, acredita-se que seja de grande valor o desenvolvimento e a documentação dos resultados dos testes propostos para este estudo.

3. Revisão Teórica

Neste capítulo será feita uma revisão da bibliografia que abrange o contexto das estratégias quantitativas no mercado financeiro. Essa revisão auxiliará na compreensão dos resultados obtidos no presente estudo. O foco central será a teoria relacionada às estratégias que buscam neutralidade em relação ao mercado, especialmente a de pairs trading. Pairs trading é apresentada como uma estratégia neutra ao mercado. Uma estratégia pode ser considerada neutra em relação ao mercado quando o valor de seu coeficiente Beta for igual, ou próximo de zero. Portanto, para se compreender a estratégia é necessário entender o conceito de neutralidade ao mercado.

3.1 Modelo CAPM e coeficiente Beta

O modelo de precificação de ativos financeiros, ou *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), foi desenvolvido por Sharpe (1964) e baseado na Modern Portfolio Theory de Markowitz (1952). Segundo o CAPM, os ativos tendem a se alinhar no longo prazo em uma reta proveniente da seguinte equação:

$$R_i = R_f + \beta(R_m - R_f) \quad [1]$$

Na equação [1], o símbolo R_i representa o retorno esperado para a ação i , o valor de R_f representa o rendimento do ativo livre de risco, o símbolo β é o coeficiente beta e o valor de R_m representa o rendimento esperado da carteira de mercado.

A ideia básica do modelo CAPM é que os ativos têm seu comportamento atrelado aos movimentos do mercado. Diferenciam-se os ativos em função de sua sensibilidade ao comportamento do mercado. A equação [1] demonstra que o beta é a medida de risco ou de sensibilidade dos retornos da ação de determinada empresa em relação aos retornos do mercado acionário. Observamos que se o Beta de determinada ação ou carteira for igual a 1, espera-se que seu retorno seja igual ao retorno do mercado ($R_i=R_m$). Da mesma forma se o beta de determinada ação ou carteira for zero, ou próximo de zero, podemos dizer que o retorno do mercado não interfere no retorno esperado da ação ou dessa carteira de ativos caracterizando uma situação de neutralidade ao mercado.

O beta de um ativo pode ser calculado pela covariância dos retornos desse ativo com os retornos da carteira de mercado dividido pela variância dos retornos da carteira de mercado. O beta é também considerado o indicador do grau de risco sistemático da ação. Risco sistemático é a parte do risco comum ao mercado como um todo e difere do risco individual de cada ativo, pois não pode ser reduzido através da diversificação, por esse motivo também é conhecido por risco não diversificável.

3.2 Hipótese de Eficiência de Mercado

Um dos principais pressupostos do Modelo CAPM e de grande parte das teorias econômicas é a hipótese de eficiência de mercado. A proposta de Fama (1970) é vista no centro da discussão a respeito da possibilidade de retornos excessivos em estratégias de investimento no mercado financeiro. Pela importância da hipótese de eficiência de mercado, torna-se essencial uma revisão de seus aspectos centrais nesse trabalho.

A hipótese de que, em qualquer instante, todas as informações disponíveis já estejam incorporadas nos preços dos títulos é conhecida como Hipótese de Eficiência de Mercado. A teoria se baseia em três principais pressupostos. O primeiro considera que todos os investidores são racionais e, portanto, avaliam os títulos de forma racional visando maximizar seu lucro. O segundo considera que, no caso da existência de investidores não racionais, essas negociações com títulos são aleatórias e, por isso, são negociações que eliminam umas às outras, sem alteração no preço dos títulos. O terceiro pressuposto é que, ainda no caso de investidores não racionais, a ação de arbitadores racionais eliminaria a influência desses investidores nos preços dos títulos.

Investidores considerados racionais avaliam os títulos pelos seus valores intrínsecos, ou seja, pelo valor atualizado de um fluxo de caixa futuro, menos a taxa de juros que considera a característica do risco. No momento em que investidores recebem novos conhecimentos sobre os fundamentos de cada ativo, eles respondem a essa nova informação elevando o preço quando a novidade é boa e diminuindo-o quando a novidade for ruim. Por consequência, o preço do título incorpora de imediato toda informação disponível e os preços são ajustados instantaneamente para os novos níveis, que correspondem sempre aos valores reais dos ativos.

Fama (1970) sugeriu três níveis de eficiência de mercado: eficiência fraca, semi forte e forte. Fama(1970) partiu do pressuposto de que os mercados se desenvolvem até atingir um nível máximo de eficiência, ou seja, o terceiro nível de eficiência. Portanto, antes de chegar a este nível um mercado pode ser eficiente na forma fraca ou média.

Segundo Fama(1970), um mercado é eficiente na forma fraca quando não é possível obter ganhos excessivos ao utilizar somente as informações de preços históricos passados. Neste caso, a análise técnica, que utiliza resultados de preços anteriores para possibilitar ganhos aos investidores, não seria útil.

Em um mercado eficiente na forma semiforte, segundo Fama(1970), não existe possibilidade de ganho excessivo através da utilização de toda a informação pública disponível. Nesta situação, além das informações contidas nos preços passados, resultados referentes a informações de lucros e receitas também já foram incorporados aos títulos, como por exemplo, os dados referentes à análise fundamentalista. Os únicos tipos de negociações rentáveis nessa forma de eficiência seriam aquelas feitas com informações internas.

O mercado eficiente na forma forte significa a impossibilidade de ganhos acima do mercado com estratégias de investimento resultantes de qualquer tipo de informação. Todos os agentes econômicos rapidamente incorporariam aos preços das ações todas as informações existentes. Segundo Jensen (1978) essa é uma proposição extrema e que a maioria das pessoas a enxerga dessa forma, ou seja, apenas como uma finalização lógica das possibilidades que compõem a hipótese de eficiência de mercado.

Através da rápida incorporação das informações nos preços dos ativos, a hipótese de eficiência de mercado atesta, com base em suas premissas, que é impossível para estratégias de negociações produzirem retornos acima do retorno médio da carteira de mercado no longo prazo.

3.3 Revisão dos testes empíricos aplicados à hipótese de eficiência de mercado

Vários trabalhos testaram a eficiência do mercado através de verificação empírica. Buscaram verificar se informações dos preços passados poderiam explicar os retornos dos ativos. Saffi(2002) testou 14.630 estratégias de análise técnica no mercado futuro brasileiro e seus resultados indicam que essas estratégias não são capazes de gerar retornos estatisticamente significativos quando os efeitos de *data-snooping* são levados em conta. *Data snooping* ocorre quando uma determinada amostra de dados é usada de forma inadequada. Quando esses dados são utilizados mais de uma vez para a realização de inferências ou para seleção de modelos, ocasiona a possibilidade de que qualquer resultado obtido pelo estudo seja apenas por acaso ou sorte. Isso acontece pelo modelo estar sendo moldado em relação aos dados da amostra e não em relação a realidade. A principal consequência de *data snooping* é o péssimo desempenho dos modelos em testes com dados de fora da amostra ou dados *out-of-sample*.

Esses resultados estão de acordo com o previsto pela hipótese fraca de eficiência de mercado. Aronson (2007) realizou um estudo bastante similar ao de Saffi, em que testou 6400 estratégias de compra e venda no mercado americano. Seus resultados não apresentaram evidências suficientes para que a hipótese de eficiência de mercado sob a forma fraca pudesse ser rejeitada.

Outros estudos chegaram à conclusão de que são possíveis ganhos excessivos através de estratégias de negociação que utilizam apenas as informações contidas nos preços históricos. Pairs trading é uma dessas estratégias que atingiram êxito em apresentar evidências para rejeitar a hipótese de eficiência de mercado. Os estudos com resultados mais significativos para este trabalho são Gatev (2006) e Perlin (2007), porém existem outros que apresentam resultados empíricos significativos, por exemplo: Caldeira (2010), Dunis (2012), entre outros.

Gatev et al.(2006) estudou o desempenho de Pairs Trading em dados diários ao longo de 40 anos, de 1962 à 2002, verificou que foram proporcionados retornos excessivos no período analisado. Os retornos da estratégia foram duas vezes superiores ao benchmark utilizado (S&P500), com um risco 45% menor do que o apresentado por esse índice de mercado. Porém o autor conclui que nos anos finais do período de testes a rentabilidade da

estratégia se reduziu significativamente. Uma das explicações possíveis para o ocorrido é que o aumento da competição na indústria dos fundos de investimentos aumentou a eficiência do mercado nesse período.

Perlin (2007) utilizou a abordagem de Pairs Trading em dados diários, semanais e mensais. Ele atestou a possibilidade de retornos excessivos no mercado acionário brasileiro nos anos de 2000 a 2006, quando utilizado dados na frequência diária. Para verificar a validade dos resultados encontrados foi utilizado o método de *bootstrap* que atestou que os resultados positivos eram significantes e não devidos a fatores aleatórios, mas sim, devido às capacidades preditivas da estratégia.

3.4 High Frequency Trading (trading de alta frequência)

Mesmo que a estratégia testada nesse trabalho possa não ser categorizada como de alta frequência por alguns autores, pelo estudo utilizar dados de alta frequência (preços históricos intradiários) torna-se importante analisar esse contexto.

O *high frequency trading* (HFT) foi desenvolvido a partir dos anos 90 como resposta aos novos desenvolvimentos na tecnologia da computação e pela adoção de forma gradual de sistemas de trading eletrônico pelas bolsas de valores onde os títulos financeiros são negociados. Na figura 1 pode ser observada a evolução de 2001 a 2010 da adoção de sistemas de negociações eletrônicas no mercado americano dividida por classes de ativos. Na figura 1, *equities* representa o mercado de ações, *futures* representa os mercados futuros, *options* representa o mercado de opções, *FX* o mercado internacional de divisas e *fixed income* para o mercado de renda fixa. Pode ser observado que em 10 anos, os mercados americanos automatizaram quase que completamente suas operações. Em 2010, as negociações já são executadas de forma exclusivamente eletrônica na maior parte dos mercados, e isso explica a atual aceleração no desenvolvimento de métodos de negociações em dados de alta frequência.

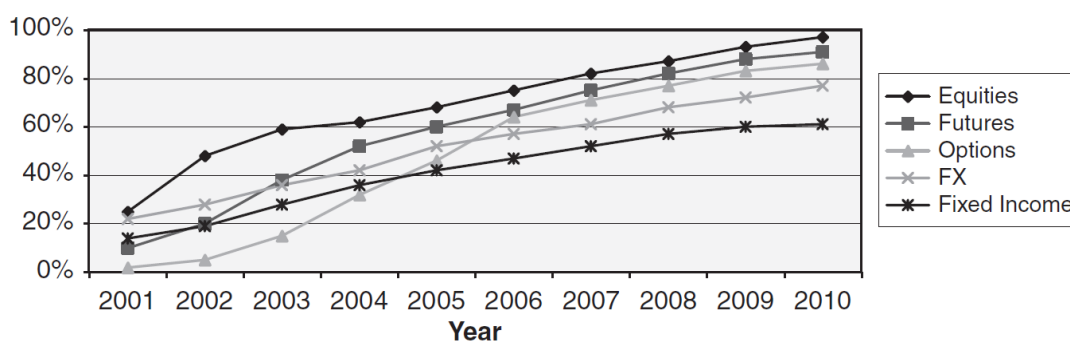


Figura 1. Adoção de sistemas de trading eletrônico nas bolsas de valores por classe de ativos. Fonte: Aite Group

Segundo Aldridge (2010) a grande inovação que separa o trading de alta frequência, do *trading* de baixa frequência é o alto giro de capital financeiro através de rápidas respostas geradas por computadores em condições dinâmicas de mercado. As estratégias de HFT são caracterizadas por um alto número de negociações e uma baixa média de lucros por trade. Gestores de estratégias de alta frequência executam inúmeras negociações por dia onde a grande maioria, senão todas, são encerradas antes do fechamento do pregão. Por ter uma natureza de rápida execução, a grande maioria dos sistemas de negociações de alta frequência são automatizados nas suas decisões de investimento e se utilizam de algoritmos computacionais para realizar as operações de maneira extremamente rápida.

Aldridge (2010) alega que HFT proporciona tanto benefícios operacionais como para a sociedade em geral. Na perspectiva operacional, pela característica automatizada desse modelo de negociação, a economia ocorre na possibilidade de se trabalhar com uma equipe reduzida de funcionários, e uma menor incidência de erros em vista da não utilização de reações humanas nas tomadas de decisões de compra e venda dos ativos. Como benefício para a sociedade, a autora afirma que as estratégias de alta frequência proporcionam um aumento na eficiência dos mercados, adicionam liquidez as negociações, promovem inovações nas tecnologias computacionais e ajudam a estabilizar os sistemas financeiros.

Pelas estratégias de HFT identificarem e negociarem as ineficiências temporárias de mercado, elas realmente podem auxiliar na velocidade com que as informações são incorporadas nos preços dos títulos financeiros. Por conta disso é correto afirmar que HFT

pode proporcionar maior eficiência aos mercados, estabilizando-os e eliminando avaliações equivocadas dos preços.

Uma proposição do HFT que será analisada nesse trabalho é a de que ineficiências de mercado aparecem em maior quantidade nos dados de maior frequência. É possível verificar se os dados de maiores frequência possuem maiores ineficiências do que dados de menor frequência ao se comparar os resultados da estratégia ativa de investimento nessas diferentes frequências. No presente trabalho a estratégia de pairs trading será testada na frequência intradiária de 5 minutos e na frequência diária. Após os testes os resultados serão comparados e analisados.

3.4.1 Incertezas a respeito do HFT

O desenvolvimento do High Frequency Trading não trouxe apenas benefícios para os mercados. Para entender um pouco a respeito dos riscos desses tipos de operações se revisará dois eventos trágicos onde as estratégias de alta frequência tiveram uma parcela relevante de responsabilidade pelo ocorrido.

3.4.1.1 Flash Crash

O episódio conhecido como *Flash Crash* ocorreu no dia 6 de maio de 2010 e é considerado um dos *crashes* do mercado acionário americano. O nome *Flash Crash* vem por causa do caráter único desse fenômeno. Naquela terça-feira, em questões de minutos, o índice Dow Jones caiu cerca de 9%, para alguns minutos depois retornar ao valor do antigo patamar.

O incidente gerou diversas polêmicas por parte dos agentes de mercado, muitos deles apontando o HFT como único e principal culpado. Por conta de todo o ocorrido, uma extensa investigação foi realizada pelas comissões reguladoras dos mercados acionários americanos (SEC)¹ e de commodities (CFTC)² para apurar as causas desse evento. A investigação foi concluída e um relatório com os resultados foi divulgado. De acordo com o relatório elaborado conjuntamente pela SEC e a CFTC (SEC e CFTC, 2010), o mercado se encontrava

¹ SEC – U.S. Securities and Exchange Commission

² CFTC – U.S. Commodity Futures Trading Commission

com alta volatilidade e baixa liquidez em decorrência dos desdobramentos da crise na Europa. O flash crash se iniciou devido a uma operação de hedge por parte de um fundo mútuo que vendeu 75000 contratos do mini índice futuro do S&P500(E-Mini) em um valor aproximado de 4,1 bilhões de dólares para proteger suas posições compradas em ações. O problema foi no método utilizado para realizar essas transações de venda, um algoritmo que por ter sido mal ajustado, vendeu os 75000 contratos em menos de 20 minutos, o que usualmente levava de 5 a 6 horas (SEC e CFTC, 2010). O ocorrido levou a um efeito cascata, através de uma série de ordens de vendas pelos participantes do mercado, principalmente dos utilizadores das estratégias de alta frequência, o que impulsionou o movimento de queda e praticamente eliminou a liquidez do E-Mini e de todo o mercado americano. Por conta disso, é possível observar os abruptos movimentos nos índices e ações do mercado americano. A figura 2 mostra em azul as cotações do E-Mini no dia 6 de maio de 2010, e, em vermelho, a quantidade de contratos negociados por minuto.

A situação só reverteu quando a acelerada queda do índice acionou um gatilho automático de parada de negociações (*circuit-breaker*) no E-Mini. As negociações no contrato foram paralisadas durante 5 segundos. A paralisação foi suficiente para restabelecer a liquidez no mercado através do equilíbrio entre as ordens dos compradores e dos vendedores. Somente após o acionamento do *circuit-breaker* os preços começaram a se recuperar e o mercado financeiro americano voltou a trabalhar perto da normalidade.

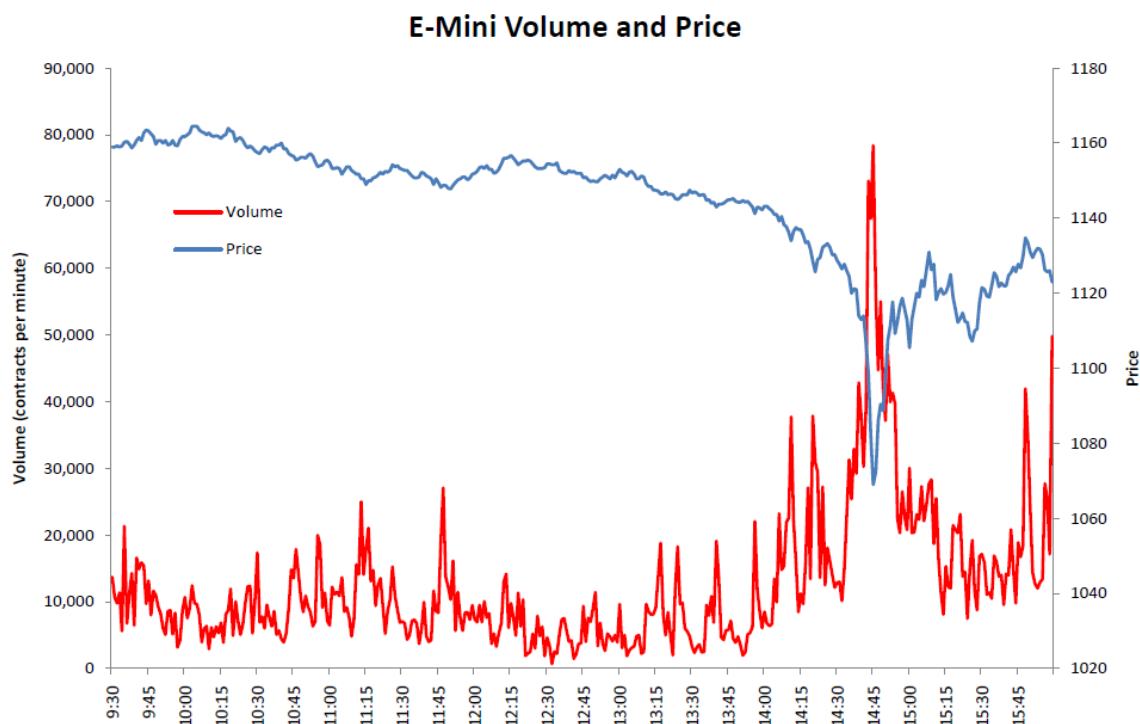


Figura 2. Gráfico dos preços e volume de negociação do E-Mini no dia 6 de maio de 2010

3.4.1.2 O caso do Knight Capital Group

Este segundo incidente é mais recente e envolveu uma das maiores firmas de serviços e operações financeiras do mercado norte americano. Segundo Popper (2012), em julho de 2012 a companhia Knight Capital perdeu 440 milhões de dólares em apenas 45 minutos devido a uma falha na programação de um de seus algoritmos de negociação automática. Apesar de ser um evento específico, o ocorrido afetou diretamente o mercado, trazendo grande instabilidade para o sistema de forma geral.

Dessa forma se encerra a revisão teórica que procurou contextualizar a estratégia de pairs trading no meio acadêmico. Foi visto que os resultados encontrados podem tanto corroborar com a hipótese de mercado eficiente, bem como, servir para uma verificação empírica que aponta evidências contrárias a essa mesma hipótese. Também foi demonstrado nesta seção que através da utilização de dados intradiários neste estudo, poderá ser verificado

se os resultados corroboram com a proposição de que as ineficiências de mercado aparecem em maior grau nos dados de maior frequência.

4. Objetivos

Neste trabalho se buscará atingir os seguintes objetivos:

4.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho será verificar o desempenho da estratégia de pairs trading aplicada em dados de alta frequência no mercado acionário brasileiro.

4.2 Objetivos Específicos

- Verificar se os resultados deste trabalho apresentam evidências empíricas suficientes para rejeitar a hipótese de eficiência do mercado brasileiro sob a forma fraca proposta por Fama (1970).
- Verificar se os resultados deste trabalho apresentam evidências de que as ineficiências de mercado aparecem em maior quantidade nos dados de maior frequência, e assim verificar se é possível estender as conclusões de Perlin (2007) para os dados de frequência intradiária.

5. Procedimentos Metodológicos

Neste tópico serão apontados os métodos utilizados para se atingir os objetivos propostos anteriormente.

5.1 Base de Dados

Para testar a estratégia foram utilizadas as cotações dos 20 ativos com maior liquidez no período entre 01 de janeiro de 2008 e 31 de dezembro de 2011. No total serão 65.406 observações para cada ativo analisado, totalizando o número de 1.308.120 observações para a base de dados. As observações representam os preços dos ativos na periodicidade de 5 minutos, onde cada observação equivale ao valor da média aritmética do preço de negociação de cada ativo durante 5 minutos do pregão. Para evitar períodos sem negociação nos ativos, optou-se pela captura das cotações 15 minutos após a abertura do pregão, indo até 15 minutos antes do seu encerramento. É importante salientar que todos os dados foram ajustados para pagamentos de dividendos, subscrições de ações, desdobramento ou grupamento de ações, e pagamentos de juros sobre capital próprio.

A estratégia se utilizará de períodos de treinamento, onde os pares serão atualizados e selecionados para o próximo período de negociação através da metodologia da estratégia e pelo acompanhamento das variações nos preços dos ativos nos últimos seis meses. Os pares serão atualizados a cada mês, portanto, cada período de trading terá a duração de um mês. Serão computados 42 períodos de treinamento e 42 períodos de negociação nos dados da presente amostra, de forma que os primeiros seis meses servirão apenas como período de treinamento e não serão utilizados para negociações.

A figura 3 mostra uma visão global da base de dados na frequência de 5 minutos. Constam os nomes dos ativos que compõem a amostra, e as séries históricas de seus preços no período que vai de 01 de janeiro de 2008 a 31 de dezembro de 2011. O eixo horizontal é o tempo e o eixo vertical são os preços dos ativos.

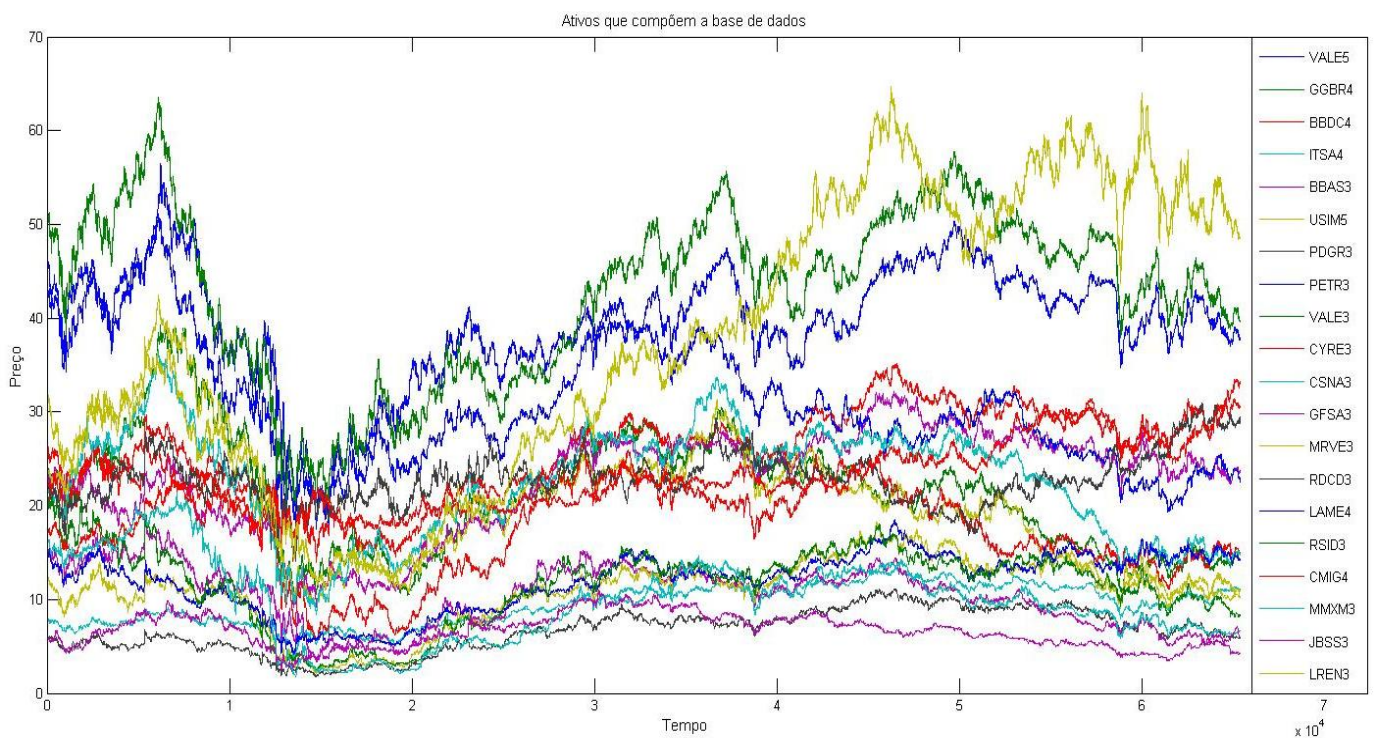


Figura 3. Ativos que compõem a base de dados

Na tabela 1, esses ativos são descritos com seus respectivos preços; mínimos, médios e máximos, obtidos durante o período de duração da amostra.

ATIVO	PREÇO		
	Mínimo	Médio	Máximo
VALE5	18,22	37,25	51,10
GGBR4	9,89	21,30	39,28
BBDC4	13,96	25,80	35,14
ITSA4	3,82	9,46	13,35
BBAS3	9,21	22,64	32,17
USIM5	8,49	20,43	42,47
PDGR3	1,75	6,68	11,17
PETR3	17,55	32,77	56,46
VALE3	20,20	42,82	63,61
CYRE3	5,65	17,87	28,28
CSNA3	8,43	22,58	36,62
GFS3	3,36	10,38	18,99
MRVE3	2,13	10,88	18,24
RDCD3	14,11	22,90	30,92
LAME4	4,22	11,92	18,52
RSID3	2,45	11,54	21,26

CMIG4	14,51	22,60	33,45
MMXM3	1,78	9,88	21,32
JBSS3	2,56	6,67	10,96
LREN3	10,97	37,18	64,65

Tabela 1. Lista dos ativos

5.2 Metodologia da pesquisa

A metodologia será composta pelos seguintes passos: O método irá localizar os pares que serão negociados, definir os parâmetros de cada negociação e, após isso, avaliar os resultados obtidos. Para testar¹ e computar os resultados da estratégia será utilizado o programa Matlab.

A estratégia de pares se resume a localizar dois ativos que se movimentem de maneira parecida, controlar a distância entre seus preços, e assim que a diferença entre os preços destes ativos for maior que determinado valor, deve-se comprar o ativo que se desvalorizou e vender o ativo que se sobrevalorizou. Quando a distância entre os preços retornar ao valor observado anteriormente deve-se finalizar a operação, ou seja, deve-se comprar o ativo que foi vendido e vender o ativo que foi comprado. Espera-se que a diferença entre os preços retorne a sua média histórica e que a distância entre os dois ativos diminua, portanto, espera-se que o spread final seja menor que o spread inicial. O risco de a distância entre os pares continuar a aumentar deve ser considerado. Isto pode acontecer por alguma alteração ou quebra na relação histórica entre os dois ativos. Neste caso a operação será finalizada apenas quando se encerrar o período de negociações vigente.

5.3 Escolha dos pares

O método de negociação neste trabalho irá selecionar os pares a serem utilizados em cada período de negociação pelas ações que apresentarem os menores desvios quadráticos entre os seus preços normalizados durante o período de treinamento precedente.

O passo inicial para a escolha dos pares será a normalização dos preços de cada ativo e se dará da seguinte forma:

¹ A base do código utilizado pode ser encontrado em sites.google.com/site/marceloperlin/matlab-code

$$R_{i\tau} = \frac{P_{it} - (P_{i,t-1})}{P_{i,t-1}} \quad [2]$$

O valor de $R_{i\tau}$ é equivalente ao retorno do ativo i no tempo τ . P_{it} é o preço do ativo i no tempo t , e $P_{i,t-1}$ é o preço do ativo i no tempo $t-1$. Com a utilização da equação [2], os preços serão convertidos para retornos. Agora os retornos deverão ser trazidos para a mesma unidade através da seguinte fórmula:

$$P_{it}^* = \prod_{\tau=1}^t (1 + R_{i\tau}) \quad [3]$$

Na equação [3], P_{it}^* representa o preço padronizado do ativo i no tempo t obtido através do produtório de $(1 + R_{i\tau})$. A série se inicia em $P_{i0}^* = 1$, ou seja, todos os ativos iniciarão a amostra com o mesmo preço. $R_{i\tau}$ é o retorno obtido na equação [2]. O passo seguinte após a conversão dos retornos dos ativos é normalizar os preços dos ativos.

$$P_{it}^{**} = \frac{P_{it}^* - E(P_{it}^*)}{\sigma(P_{it}^*)} \quad [4]$$

Na equação [4], P_{it}^{**} representa o preço normalizado do ativo i no tempo t . $E(P_{it}^*)$ é o valor esperado dos preços obtidos no procedimento [3]. $\sigma(P_{it}^*)$ é o desvio padrão dos preços obtidos no procedimento [3].

Agora que os preços estão normalizados, basta selecionar os pares que apresentarem a menor distância quadrada entre seus preços. Após a identificação de cada par para cada ativo, a estratégia sinalizará o início de uma operação toda vez que a distância absoluta entre P_{it}^{**} e p_{it}^{**} for maior que d , onde p_{it}^{**} é o preço normalizado do par da ação i no tempo t . O gatilho d é um valor arbitrário, e representa o número de desvios padrões que iremos definir para o início de cada negociação. Assim que o spread dos preços normalizados de determinado par de ações for maior que d desvios padrões, será iniciada uma negociação. Um número mais elevado de d resultará em um menor número de negociações, pois apenas se realizará negociações quando ocorrerem acentuados desvios entre os preços normalizados dos pares de ativos. Já um número menor de d , resultará em uma maior quantidade de negociações o que acarretará em altos custos de transação.

De acordo com a estratégia, se o preço normalizado da ação i no tempo t , P_{it}^{**} , estiver valorizado em relação ao seu par p_{it}^{**} , assumiremos uma posição vendida na ação e uma

posição comprada no seu par. Se o valor de P_{it}^{**} estiver desvalorizado em relação ao de p_{it}^{**} , assumiremos uma posição comprada na ação e uma posição vendida no seu par. Essa posição deve ser mantida até que a diferença absoluta entre os preços normalizados seja menor que S , onde S é o gatilho de saída da operação, da mesma forma que d , S também é arbitrário. Por motivos lógicos S deve ter menor valor que d , pois se espera iniciar a operação quando a distância entre os preços for maior que d e finalizá-la quando os preços regressarem para mais próximo da estabilidade histórica e, portanto, uma distância menor entre os seus preços normalizados.

5.4 Cálculo da rentabilidade líquida da estratégia

No presente trabalho a estratégia adotada forma posições neutras financeiramente, o que significa que as pontas compradas e vendidas possuem o mesmo valor. Se os valores monetários forem iguais, ou muito próximos, o lucro esperado da negociação é a diferença entre o spread inicial e o spread final do par de ativos negociado. Dessa forma, espera-se que as posições vendidas financiem completamente as posições compradas. Na prática é um pouco complicado de se obter duas posições exatamente iguais, porém é possível através de um bom gerenciamento das operações no mercado, fazer com que as posições se tornem parecidas não provocando um viés significativo nos retornos esperados da estratégia.

A rentabilidade líquida é o retorno bruto da estratégia descontado de seus custos de transação. O retorno bruto nada mais é do que o capital inicial do portfólio somado ou descontado dos retornos das negociações no final do período de testes. Os custos de transação utilizados nesse trabalho correspondem a 0,1% do capital por operação. Para elucidar a escolha desse valor é preciso definir quais os diferentes custos de transação envolvidos em cada operação.

O principal componente dos custos de transação são as taxas de emolumentos e liquidação cobradas pela BM&FBovespa, que somadas representam 0,0345% de custo nas operações de compra ou venda. Na ocasião de uma operação de venda, os ativos vendidos precisam ser alugados. Nesse caso o tomador do aluguel deverá pagar três diferentes custos, sendo eles: A remuneração devida ao doador do ativo, a comissão da corretora e a taxa de registro do aluguel na BM&FBovespa. A remuneração devida ao doador é variável e representa um valor não significativo pela curta duração das operações de pairs trading. A

comissão da corretora é um valor fixo e varia conforme a corretora, algumas não o cobram. A taxa de registro do aluguel está estipulada em 0,25% a.a. pela BM&FBovespa, e tem um valor mínimo de 10 reais. Além destes custos existe ainda a corretagem cobrada pela corretora. A corretagem geralmente é um valor fixo e, portanto, quanto maior o capital utilizado pelo investidor menor relevância o custo de corretagem terá.

A partir da análise dos itens que compõem os custos de transação, chega-se a conclusão de que 0,1% de custos por operação é um custo realista e de acordo com a realidade do mercado brasileiro para as transações de pairs trading. Portanto, para uma operação completa de pairs trading que compreende uma operação de compra e uma de venda, os custos de transação totais representariam 0,2% do capital investido.

5.5 Cálculo dos retornos excessivos

Os retornos excessivos são calculados através da diferença entre a rentabilidade líquida total da estratégia no período e os retornos de uma estratégia ingênua. Através disso é possível verificar em quanto os retornos da estratégia de pares excedeu os retornos da estratégia ingênua. Neste trabalho a estratégia ingênua é a estratégia passiva de *buy&hold* da carteira de mercado, que é composta pelos ativos que da amostra deste estudo. A análise dos retornos excessivos desta forma é de vital utilidade, pois irá comparar pairs trading, uma estratégia com elevados custos de transações, com a gestão passiva de recursos (*buy&hold*), que é recomendada por diversos agentes do mercado por não acarretar em demasiados custos de transação. Na figura 4 é possível observar a evolução da rentabilidade da carteira de mercado durante o período de duração da amostra.

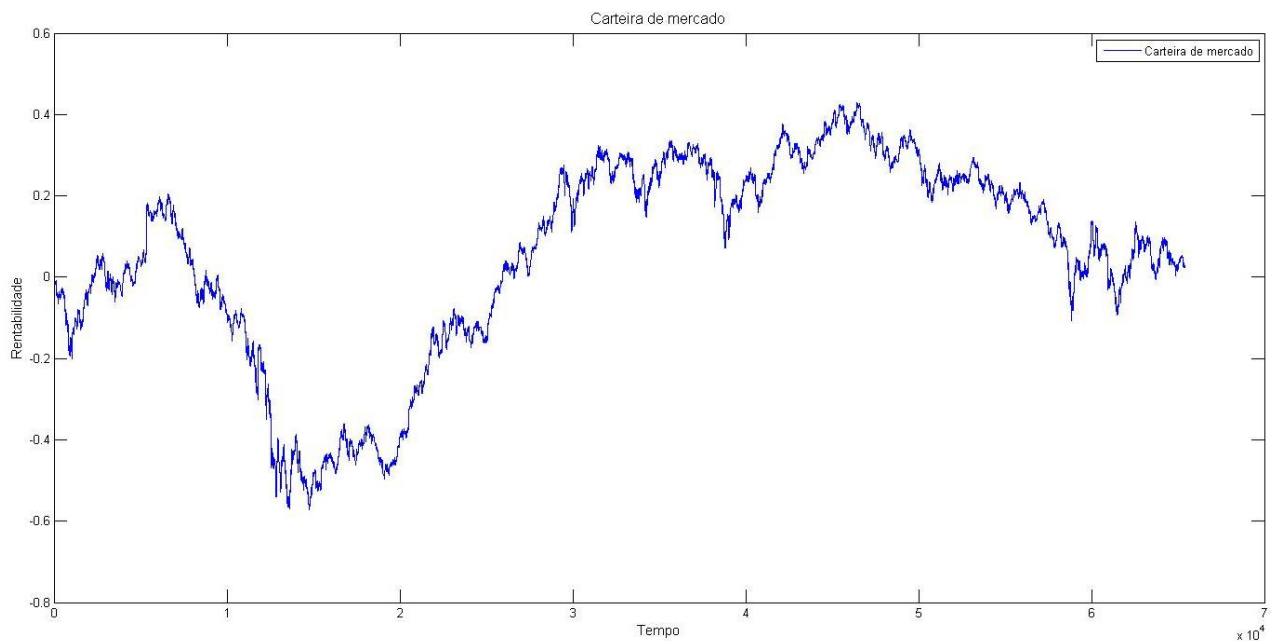


Figura 4. Rentabilidade da carteira de mercado

O eixo horizontal da figura representa o tempo, e o eixo vertical representa a rentabilidade da carteira de mercado em porcentagem.

5.6 Cálculo do *Drawdown* Máximo

O *drawdown* máximo em um específico tempo t é definido pela diferença entre o valor atual de retorno da estratégia e o valor máximo atingido pela estratégia em um momento anterior ao tempo t . O *drawdown* máximo é a medida de perda máxima da estratégia de forma consecutiva. Ou seja, qual a maior quantia que a estratégia perdeu sem que fosse estabelecido um novo patamar superior nos retornos máximos da estratégia. A figura 5 procura ilustrar o conceito de *drawdown* máximo em uma série histórica de preços da Vale5, onde o eixo x seria o tempo e o eixo y , os preços desta ação. O valor da maior queda consecutiva dos preços deste ativo, que está salientada pelas setas, é o *drawdown* máximo no período analisado.

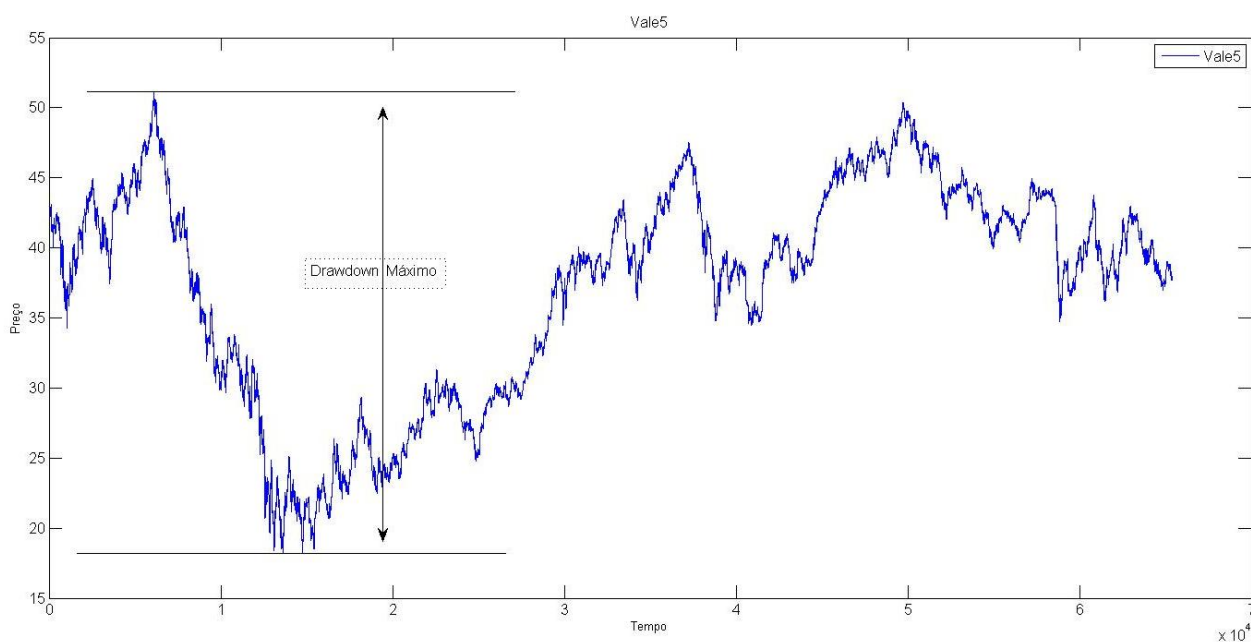


Figura 5. Ilustração do conceito de drawdown máximo

5.7 Índice de Sharpe

O índice de Sharpe é o mais popular medidor de desempenho usado pelos agentes do mercado financeiro. Em 1966, William Sharpe desenvolveu o índice que inicialmente recebeu o nome de recompensa por variabilidade, sendo depois simplesmente conhecido por índice de Sharpe. A relação proposta pelo autor é de medir o excesso de retorno de determinada estratégia pelo seu risco, normalmente contabilizado pelo desvio-padrão. A proposta segue a seguinte fórmula:

$$S = \frac{E[R] - R_f}{\sigma} \quad [5]$$

Na fórmula [5], R é o retorno da estratégia ou ativo, R_f é o retorno do ativo livre de risco e σ é o risco ou desvio-padrão dos retornos.

Para favorecer a comparação entre diversas estratégias o índice é calculado sempre na forma anual. Portanto os valores de retornos e desvios precisam ser passados para essa periodicidade.

Na hora de calcular o retorno anual médio de uma estratégia basta encontrar os retornos geométricos médios da estratégia obtidos através da fórmula [6], e multiplicá-los pelo número de períodos constatados em um ano. Em uma estratégia com retornos mensais se multiplicaria o retorno mensal geométrico médio por 12, que é o número de observações encontradas em um ano, para se alcançar o retorno anual esperado da estratégia.

$$\mu_g = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n (1 + x_t)} - 1 \quad [6]$$

Na fórmula [6], μ_g é a média geométrica dos retornos e x_i é o retorno da estratégia no tempo t .

Se valendo do pressuposto de que os retornos não são correlacionados serialmente, o desvio padrão anualizado pode ser encontrado através da multiplicação do desvio padrão geométrico médio pela raiz quadrada do número de observações em um ano. O desvio padrão geométrico médio pode ser encontrado através do procedimento elucidado abaixo.

$$\sigma_g = \exp \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\ln \frac{x_i}{\mu_g} \right)^2}{n}} \quad [7]$$

Na fórmula [7], σ_g é o desvio padrão geométrico, μ_g é a média geométrica obtida no procedimento [6] e x_i é o retorno da estratégia no período i .

Neste trabalho serão utilizados dados intradiários de 5 minutos. Para se anualizar o desvio padrão geométrico dessa periodicidade deve se multiplicar o desvio padrão geométrico médio pela raiz quadrada da quantidade total de observações encontradas em um ano que neste trabalho é igual a $\sqrt{16350}$.

6. Resultados

6.1 Pairs trading

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos no período testado com a utilização da estratégia de pares nos ativos que compõem a amostra. Os testes foram divididos pelos seus respectivos gatilhos de entrada e saída. Cada unidade no valor do gatilho representa um desvio padrão de distância entre os preços normalizados dos pares de ativos. Por exemplo, se o valor do gatilho de entrada das operações for igual a um, a distância entre os preços normalizados de um determinado par de ativos precisa se afastar apenas um desvio padrão de sua média para que a estratégia sinalize o início de uma negociação nesse determinado par. Também é de se esperar que quanto menor o valor dos gatilhos de entrada maior será a quantidade de trades no período, e quanto maior o gatilho, menor será a quantidade de trades observada. Para os gatilhos de saída a relação é inversa. Quanto menor o valor dos desvios de saída maior será a duração de cada trade e, portanto, menor será o número de trades observado no período. Na tabela 2 são apresentados os resultados da estratégia na frequência de dados de 5 minutos para diferentes gatilhos de entrada e saída de operações.

Pairs Trading - 5 minutos

Entrada		1,00							
-----	Rentabilidade líquida	Rentabilidade líquida anual	Retornos Excessivos	Alpha	Beta	Índice Sharpe anualizado	Índice Sharpe da carteira de mercado	Drawdown Máximo	Número de trades
Saída									
0,10	148,11%	42,32%	143,37%	0,0019	0,0898	0,58	0,17	-65,55%	234
0,50	82,36%	23,53%	77,62%	0,0011	-0,0464	0,31		-80,15%	311
1,00	-18,41%	-5,26%	-23,15%	-0,0002	0,0580	-0,09		-86,69%	1489
Saída - Quantidade de desvios para sair da operação				Entrada - Quantidade de desvios para entrar na operação					
Rendimento da carteira de mercado = 4,74%				Drawdown Máx. da carteira de mercado = -57,92%					
* Estatisticamente significante a 10% ** Estatisticamente significante a 5% *** Estatisticamente significante a 1%									

Pairs Trading - 5 minutos

Entrada		1,50							
-----	Rentabilidade líquida	Rentabilidade líquida anual	Retornos Excessivos	Alpha	Beta	Índice Sharpe anualizado	Índice Sharpe da carteira de mercado	Drawdown Máximo	Número de trades
Saída									
0,10	177,34%	50,67%	172,60%	0,0023	-0,0012	0,87	0,17	-60,94%	134
0,50	152,61%	43,60%	147,87%	0,0021	0,0651	0,88		-46,59%	151
1,00	30,05%	8,59%	25,31%	0,0005	0,0194	0,23		-58,23%	191
Saída - Quantidade de desvios para sair da operação				Entrada - Quantidade de desvios para entrar na operação					
Rendimento da carteira de mercado = 4,74%				Drawdown Máx. da carteira de mercado = -57,92%					
* Estatisticamente significante a 10% ** Estatisticamente significante a 5% *** Estatisticamente significante a 1%									

Pairs Trading - 5 minutos

Entrada		2,00							
-----	Rentabilidade líquida	Rentabilidade líquida anual	Retornos Excessivos	Alpha	Beta	Índice Sharpe anualizado	Índice Sharpe da carteira de mercado	Drawdown Máximo	Número de trades
Saída									
0,10	-43,81%	-12,52%	-48,55%	-0,0003	0,0389	-0,15	0,17	-54,08%	71
0,50	-64,76%	-18,50%	-69,50%	-0,0007	0,0327	-0,44		-67,03%	73
1,00	-75,96%	-21,70%	-80,70%	-0,0009	0,0121	-0,55		-71,69%	83
Saída - Quantidade de desvios para sair da operação				Entrada - Quantidade de desvios para entrar na operação					
Rendimento da carteira de mercado = 4,74%				Drawdown Máx. da carteira de mercado = -57,92%					
* Estatisticamente significante a 10% ** Estatisticamente significante a 5% *** Estatisticamente significante a 1%									

Tabela 2. Pairs trading nos dados intradiários.

A Tabela 2 se inicia pela rentabilidade líquida, que é o retorno bruto da estratégia no período total da amostra descontado de seus custos de transação. Lembrando que os custos de transação utilizados neste trabalho correspondem a 0,1% do capital por operação de compra ou venda. A seção 5.4 demonstrou que este é um custo realista e de acordo com a realidade do mercado brasileiro para as negociações de pairs trading.

O segundo item é a rentabilidade líquida anualizada. Obtém-se o valor anualizado através da seguinte equação:

$$R_a = (1 + R_t)^{1/t} \quad [8]$$

R_a é a rentabilidade líquida anualizada da estratégia, R_t é a rentabilidade total da estratégia e t é o número de anos que a estratégia operou. No caso deste estudo o valor de t é igual a 3,5. O valor está correto, pois o primeiro semestre foi utilizado apenas como período de treinamento do sistema e, portanto, não houve trades nesse período.

Os itens seguintes, os coeficientes alpha e beta, foram obtidos através da regressão do vetor dos retornos diários da estratégia de pares com o vetor dos retornos diários do Ibovespa. Percebe-se que nenhum dos coeficientes é estatisticamente significativo ao nível de 10% para os dados de 5 minutos. Por não haver evidências suficientes para rejeitar Beta igual à zero ao nível de 10% de significância, pode-se dizer que a estratégia de pares deste estudo é uma estratégia neutra ao mercado. Ou seja, pode-se dizer que o risco sistemático (beta) da estratégia é muito próximo de zero, o que corrobora com as evidências encontradas na literatura a respeito da neutralidade da estratégia de pairs trading. Para os Betas isso era esperado, e comprova o caráter neutro das variações nos retornos da estratégia em relação às variações nos retornos do mercado. Para os Alphas, a falta de significância dos coeficientes, mostra a falta de evidências para rejeitar a hipótese nula, ou seja, rejeitar que Alpha é igual à zero. Segundo o CAPM, pode ser dito de uma estratégia que possui Alpha igual à zero, que seus retornos estão ajustados em relação aos riscos oferecidos, quando na comparação com os retornos e os riscos do mercado. Ou seja, que os riscos e retornos são proporcionais aos riscos e retornos do mercado.

Na análise do índice de Sharpe, é possível observar a relação entre os retornos e os riscos da estratégia. Uma estratégia quantitativa, que procura negociar ativos com base em métodos estatísticos, busca estratégias com alto índice de Sharpe. A grande utilidade deste item é de poder comparar o risco-retorno de diferentes estratégias, e até mesmo com o do mercado. Ao observar os resultados percebe-se que o gatilho de entrada de 1,5 desvios proporcionou os melhores índices de Sharpe. Todos estes valores são maiores do que o Sharpe do mercado, até mesmo o resultado com um desvio de saída, parâmetro que não desempenha bons resultados em nenhuma outra combinação. Entretanto, é preciso ressaltar que estes valores estão abaixo dos valores históricos da estratégia de pairs trading analisada

na literatura. A provável explicação é a alta variância nos retornos encontrada na estratégia de pairs trading deste estudo.

Ao analisar os valores de *drawdown* máximo da estratégia é possível observar valores muito elevados e bem acima do que era esperado para uma estratégia quantitativa de alta frequência. Estratégias com elevados *drawdowns* não podem obter boas relações retorno sobre risco por causa da alta variância na distribuição de seus retornos. Os resultados mostram que mesmo nos parâmetros de entrada e saída melhores ajustados, 1,5 e 0,5 desvios respectivamente, o *drawdown* máximo foi muito próximo do *drawdown* máximo da estratégia de *buy&hold*.

O número de trades é importante, pois ilustra as consequências das alterações nos parâmetros de entrada e saída das operações. Como era de se esperar, observa-se que quanto menor o valor dos gatilhos de entrada maior a quantidade de negócios no período e portanto, maior o impacto dos custos de transação na rentabilidade da estratégia. Também é possível perceber que quanto maior o valor dos parâmetros de início das operações menor o número de trades no período e portanto, menores custos totais de transação. Para os gatilhos de saída da operação ocorre o inverso, quanto maior o valor, maior número de negócios são observados.

Através de uma observação dos resultados pode-se perceber que os melhores parâmetros para a estratégia neste determinado período foram, 1,5 desvios para entrada na operação e 0,5 desvios para fechar as posições e sair da operação. A rentabilidade de todos os testes com 1,5 desvios para entrada foram superiores ao benchmark analisado, da mesma forma que os seus índices de Sharpe. O objetivo ao testar vários parâmetros de entrada e saída no trabalho é para obter uma visão geral da rentabilidade da estratégia e evitar *data snooping*. Dessa forma evita-se o risco de selecionar apenas um tipo de parâmetro que pode ter sido ajustado de forma arbitrária à amostra e por conta disso apresenta retornos excepcionais. Através dos testes de variados valores nos parâmetros, é possível observar quais os resultados a estratégia de pares teria obtido caso algum destes parâmetros tivesse sido utilizado nos ativos dentro do período que compõem a base de dados.

Percebe-se, a partir da observação dos valores de índice de Sharpe e *drawdown* máximo, que alguns fatores da estratégia não estão bem ajustados. A principal explicação para a alta variância nos resultados e, portanto, altos valores de *drawdown*, é a grande diversidade de ativos que compõem a base de dados. Ao todo, são oito setores diferentes da

economia nos 20 ativos da amostra. É comum em pairs trading selecionar ativos de apenas alguns setores. Neste trabalho buscou-se selecionar os ativos exclusivamente pela liquidez para evitar ativos que possuíam períodos sem negociações por conta da utilização de dados de alta frequência.

Na tabela 2 são apresentados os resultados dos testes na frequência de dados diários para diferentes gatilhos de entrada e saída de operações. Estes dados serão importantes na hora de se comparar os resultados nas diferentes frequências de negociação.

Pairs Trading - diários

Entrada	1,00								
----- Saída	Rentabilidade líquida	Rentabilidade líquida anual	Retornos Excessivos	Alpha	Beta	Índice Sharpe anualizado	Índice Sharpe da carteira de mercado	Drawdown Máximo	Número de trades
0,10	181,18%	51,76%	176,44%	*0,0047	*0,1219	1,05	0,17	-75,02%	174
0,50	120,83%	34,52%	116,09%	0,0033	-0,0087	0,66		-73,62%	207
1,00	10,20%	2,91%	5,46%	0,0003	***0,2089	0,11		-76,28%	277
Saída - Quantidade de desvios para sair da operação Rendimento da carteira de mercado = 4,74%					Entrada - Quantidade de desvios para entrar na operação Drawdown Máx. da carteira de mercado = -57,92%				
* Estatisticamente significante a 10% ** Estatisticamente significante a 5% *** Estatisticamente significante a 1%									

Pairs Trading - diários

Entrada	1,50								
----- Saída	Rentabilidade líquida	Rentabilidade líquida anual	Retornos Excessivos	Alpha	Beta	Índice Sharpe anualizado	Índice Sharpe da carteira de mercado	Drawdown Máximo	Número de trades
0,10	-2,46%	-0,70%	-7,20%	0,0003	-0,0370	0,07	0,17	-75,81%	106
0,50	10,69%	3,05%	5,95%	0,0005	0,0010	0,14		-75,89%	110
1,00	-14,80%	-4,23%	-19,54%	-0,0004	0,0262	-0,13		-82,04%	126
Saída - Quantidade de desvios para sair da operação Rendimento da carteira de mercado = 4,74%					Entrada - Quantidade de desvios para entrar na operação Drawdown Máx. da carteira de mercado = -57,92%				
* Estatisticamente significante a 10% ** Estatisticamente significante a 5% *** Estatisticamente significante a 1%									

Pairs Trading - diários

Entrada	2,00								
----- Saída	Rentabilidade líquida	Rentabilidade líquida anual	Retornos Excessivos	Alpha	Beta	Índice Sharpe anualizado	Índice Sharpe da carteira de mercado	Drawdown Máximo	Número de trades
0,10	-91,40%	-26,12%	-96,14%	-0,0022	0,0213	-0,84	0,17	-74,02%	57
0,50	-62,71%	-17,92%	-67,45%	-0,0016	0,0021	-0,66		-68,41%	59
1,00	-72,03%	-20,58%	-76,77%	-0,0020	0,0094	-0,84		-73,00%	62
Saída - Quantidade de desvios para sair da operação Rendimento da carteira de mercado = 4,74%					Entrada - Quantidade de desvios para entrar na operação Drawdown Máx. da carteira de mercado = -57,92%				
* Estatisticamente significante a 10% ** Estatisticamente significante a 5% *** Estatisticamente significante a 1%									

Tabela 3. Pairs trading nos dados diários.

Tendo em vista que o objetivo deste trabalho não é analisar a estratégia de pares nos dados diários, mas sim nos dados intradiários, se buscará analisar os resultados acima apenas com o objetivo de compará-los com os resultados da estratégia nos dados de alta frequência.

Um alpha é estatisticamente significativo na tabela 3, porém este resultado deve ser desconsiderado. O mesmo teste que possui alpha significativo possui beta significativo. Portanto, rejeita-se a hipótese de que o beta desta estratégia é igual à zero, ou seja, os trades provavelmente não seguem a lógica das estratégias de pairs trading de neutralidade aos movimentos do mercado.

Percebe-se, através da comparação dos resultados de pairs trading nos dados de 5 minutos com os resultados dos dados diários, que existe um maior número de negociações nos dados de maior frequência. Mesmo com os custos de transações mais elevados devidos ao maior número de trades, os resultados nos dados de 5 minutos são, em média, superiores aos dos dados diários. É sempre importante analisar o desempenho das estratégias de uma maneira geral, ou seja, olhar para a média dos resultados e não apenas valores de combinações específicas. No início da seção 3.3 foi comentado a respeito dos riscos de data-snooping, ou seja, o risco de uma ou outra combinação de parâmetros gerarem resultados absurdos simplesmente devido ao acaso.

Também é possível observar na Tabela 3 que os valores de *drawdown* máximo são maiores nos dados diários em relação aos dados intradiários, mais um item em que os dados de maior frequência demonstram superioridade.

A partir da comparação dos resultados das Tabelas 2 e 3, pode se concluir que a estratégia de pairs trading se aproveita de um maior número de oportunidades nos dados de maior frequência.

6.2 Comparativo entre os índices de Sharpe

Nesta seção se fará um comparativo entre os índices de Sharpe obtidos pela estratégia de pairs trading nos dados de 5 minutos através da combinação dos valores de gatilhos de entrada e saída. A figura 6 mostra um gráfico 3D dessas combinações de valores. O eixo X é o dos gatilhos de saída das operações, e este parâmetro varia entre os valores de 0,1 a 1. O eixo Y é o dos gatilhos de entrada na operação. Este parâmetro irá ter valores que variam de 1 a 2. O eixo Z representa o índice de Sharpe das estratégias que utilizam a respectiva

combinação de parâmetros dos eixos correspondentes X e Y. Os valores do eixo Z variam entre -0,55 e 1. Pode ser observado que os parâmetros que produzem o melhor índice de Sharpe são: 1,4 no gatilho de entrada e 0,1 no gatilho de saída.

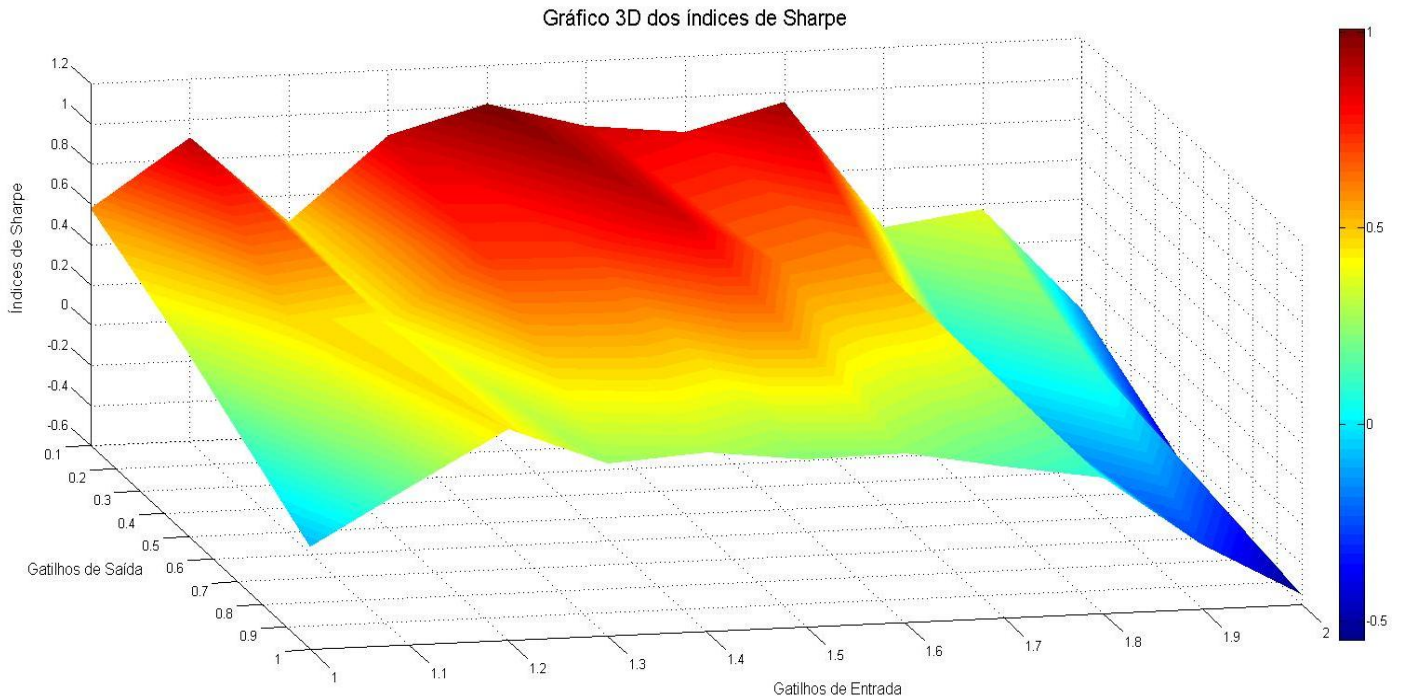


Figura 6. Gráfico 3D dos índices de Sharpe dos testes com dados intradiários.

A partir da observação da figura 6 pode ser percebido que para todos os valores de gatilho de entrada, quanto menor o gatilho de saída maior o índice de Sharpe da estratégia. Ou seja, uma relação inversamente proporcional entre o gatilho de saída e o índice de Sharpe resultante desta estratégia. Outra observação que pode ser feita é a respeito dos gatilhos de entrada. Os melhores resultados encontrados em relação a este parâmetro estão próximos dos valores médios utilizados para este parâmetro, ou seja, próximos de 1,5. Isso era esperado, pois, gatilhos de entrada muito baixos geram um excessivo número de trades, e gatilhos de entrada muito altos geram um número muito reduzido de trades.

7. Conclusão

Neste trabalho foi examinado o desempenho da estratégia de pairs trading nos dados de alta frequência do mercado acionário brasileiro. Quando comparada a uma estratégia ingênua de *buy&hold*, chega-se a conclusão de que pairs trading apresenta um bom desempenho nos dados de 5 minutos do mercado brasileiro por apresentar, em média, índices de Sharpe superiores aos do mercado. Os testes mostraram que os retornos da estratégia possuem betas não significativos a 10%, o que comprova a neutralidade de pairs trading em relação ao mercado. Os alphas, da mesma forma, não foram estatisticamente significativos ao nível de 10%, o que representa falta de evidências suficientes para rejeitar a hipótese de eficiência fraca de mercado. Após a análise, esses resultados foram comparados com os resultados da estratégia de pares em dados diários.

Através da comparação dos resultados da estratégia de pairs trading nas diferentes frequências foi possível concluir que os resultados dos testes apontam indícios de que as ineficiências, ou distorções nos preços, aparecem em maior quantidade nos dados de maior frequência, corroborando com o que foi sugerido por Perlin (2007), e por Aldridge (2010).

Essa conclusão de que os dados de maior frequência possuem maiores ineficiências de mercado pode parecer contraditória em relação à hipótese de eficiência de mercado. Porém, a não rejeição da hipótese de eficiência de mercado demonstra que o mercado é eficiente ao ponto de que a estratégia de pares testada neste trabalho, com os custos de transações inclusos, não produz resultados acima dos retornos do mercado. A hipótese de Fama (1970) até permite a possibilidade de existência de ineficiências em um mercado eficiente, mas segundo o autor, essas ineficiências são limitadas ao ponto de que os custos das negociações impossibilitariam a obtenção de retornos acima do mercado.

Em relação ao resultado da estratégia de pairs trading, é importante salientar os altos níveis de *drawdowns* máximos que foram obtidos. Os valores encontrados são contrários aos que eram esperados para uma estratégia quantitativa de alta frequência, onde se busca retornos com baixa variância. Do e Faff (2010) afirmam que pairs trading proporciona melhores retornos quando se separa as empresas da amostra pelos seus setores na indústria, segundo os autores, isto produziria uma estratégia com menores riscos, gerando um índice de Sharpe mais elevado. Essa separação não foi realizada neste trabalho pela alta frequência dos

dados utilizados. Buscou-se selecionar os ativos exclusivamente pela liquidez apresentada no período para evitar ativos que apresentassem ausência de negociações durante o dia.

Em relação às fraquezas deste trabalho precisa ser feita uma ressalva no que diz respeito aos custos de negociação. Dos três componentes (Faff e Do, 2011) que formam os custos totais de negociação de pairs trading, o presente estudo buscou implementar somente dois deles. Além de estimar os custos de transação e os custos de aluguel dos ativos, ainda restou estimar e contabilizar os custos implícitos das operações. Toda estratégia tem a incidência de custos implícitos que representam o impacto no mercado das ordens de compra ou venda de suas negociações. Dependendo da quantidade de capital utilizado nas operações, os custos implícitos podem ser determinantes na análise da viabilidade de determinada estratégia. Esses custos de impacto no mercado podem ser estimados de diferentes formas. Uma delas é amplamente utilizada na literatura e se resume a descontar da rentabilidade da estratégia o tamanho do spread entre o preço de compra e venda oferecido para determinado ativo na hora em que a estratégia sinalizar uma negociação no mesmo. Com essa informação seria possível estimar o valor real que a compra ou a venda teria no mercado caso uma ordem de compra ou venda fosse sinalizada. Pela dificuldade de acesso aos valores dos spreads de cada ativo ao longo do tempo, e pela complexidade de contabilizar esses custos implícitos, os mesmos não foram adicionados aos testes realizados neste trabalho.

Sugere-se para a realização de trabalhos futuros, com o objetivo de aprimorar os resultados da estratégia de pairs trading em dados de alta frequência, a realização da divisão da amostra de empresas pelos setores da indústria ao qual pertencem, tomando cuidado para não adicionar ativos com baixa liquidez. Outra proposta que fica para futura verificação é a realização dos testes com a contabilização dos impactos no mercado dessas operações, ou seja, de seus custos implícitos.

Referências

ALDRIDGE, I. (2010), *High-Frequency Trading: A Practical Guide to Algorithmic Strategies and Trading Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

ARONSON D. (2007), *Evidence based technical analysis: applying the scientific method and statistical inference to trading signals*. Wiley & Sons, Inc., New Jersey.

BOWEN D., HUTCHINSON M.C., O’SULLIVAN N.(2010) , *High Frequency Equity Pairs Trading: Transaction Costs, Speed of Execution and Patterns in Returns*.

CALDEIRA, J. F.(2011). Arbitragem estatística e estratégia long-short pairs trading, abordagem com cointegração aplicada a dados do mercado brasileiro. In: Encontro de economia da região sul - ANPEC SUL, Florianópolis.

CHAN, E. P. (2009), *Quantitative Trading: How to Build Your Own Algorithmic Trading Business*. Wiley trading series, New Jersey.

DO, B., FAFF R., (2010), Does simple pairs trading still work?, *Financial Analysts Journal* 66, 83-95

DO, B., FAFF R. (2011), Are Pairs Trading Profits Robust to Trading Costs? Disponível em SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1707125>

DUNIS, C. L, GIORGIONI, G., LAWS, J., RUDY, J. (2010). Statistical Arbitrage and High-Frequency Data with an Application to Eurostoxx 50 Equities. CIBEF Working Papers. CIBEF.

FAMA, E. F. (1970), Efficient Capital Markets: A Review of Empirical Work. *Journal of Finance* 25, no. 2, 383–417.

FAMA, E. F. (1965), The behavior of stock market prices. *Journal of Business*, v. 38, 34-105.

GATEV E., GOETZMANN W. N., ROUWENHORST K. G. (1999), Pairs Trading: Performance of a Relative Value Arbitrage Rule’, Working Paper, Yale School of

Management. Disponível em SSRN: <http://ssrn.com/abstract=141615> Acesso em 29 de fevereiro de 2012.

JENSEN, M. C. (1978), Some Anomalous Evidence Regarding Market Efficiency. *Journal of Financial Economics*, Vol. 6, Nos. 2/3, pp. 95-101. Disponível em SSRN: <http://ssrn.com/abstract=244159>. Acesso em 19 de dezembro de 2011.

LO, A. W., MACKINLAY A. C., (1989), Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence From a Simple Specification Test. NBER Working Paper No. 2168. Disponível em SSRN: <http://ssrn.com/abstract=346975>. Acesso em 12 de Março de 2012.

MARKOWITZ, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.

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

PERLIN, M. S.(2007), Evaluation of Pairs Trading Strategy at the Brazilian Financial Market. Disponível em SSRN: <http://ssrn.com/abstract=952242>. Acesso em 29 de setembro de 2011.

POPPER N.,(2012), Disponível em <http://dealbook.nytimes.com/2012/08/02/knight-capital-says-trading-mishap-cost-it-440-million/?hp> Acesso em 09 de novembro de 2012.

SAFFI, P.A.C.(2003) Análise Técnica – Sorte ou realidade? *Rev. Bras. Econ.* vol.57 no.4 Rio de Janeiro Out./Dez. 2003

SEC, CFTC (2010), Findings regarding the market events of may 6, 2010. Report of the staffs of the CFTC and SEC to the joint advisory committee on emerging regulatory issues. Disponível em <http://www.sec.gov/news/studies/2010/marketevents-report.pdf> Acesso em 23 de outubro de 2012.

SHARPE, W. F. (1964). Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance*, 19(3), 425-442.

SHARPE, W. F. (1966). "Mutual Fund Performance". *Journal of Business* 39 (S1): 119–138.

VIDYAMURTHY, G.,(2004), Pairs Trading - Quantitative Methods and Analysis, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.