

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

HENRIQUE DE HOLLANDA CAVALCANTI

NEGOCIAÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

HIGH-FREQUENCY TRADING

RIO DE JANEIRO

2013

Henrique de Hollanda Cavalcanti

NEGOCIAÇÃO DE ALTA FREQUÊNCIA

HIGH-FREQUENCY TRADING

Trabalho de Conclusão de Curso apresentando à Faculdade de Administração e Ciências Contábeis da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de bacharel em Administração.

Orientador: Prof.^a Iris Baldo de Castro Andreatta

Rio de Janeiro

2013

“Os elementos básicos de um investimento são segurança, rentabilidade e liquidez. Esse é o tripé que, independentemente de qualquer alteração, prevalece até hoje.”

- Roberto Teixeira da Costa -

RESUMO

CAVALCANTI, Henrique de Hollanda. **Negociação de alta frequência: high-frequency trading**. Rio de Janeiro, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração)- Faculdade de Administração e Ciências Contábeis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013

High-frequency trading é um subgrupo de algoritmos utilizado para negociação automatizada nos mercados de capitais. Tais algoritmos têm a característica de gerar um grande volume de ordens diariamente e manter as carteiras por curtos espaços de tempo. Não existe um consenso sobre se têm efeitos positivos ou negativos para os mercados. A partir do estudo da literatura existente procuramos entender a importância da velocidade nos mercados de capitais, se o high-frequency trading representa uma nova estratégia ou apenas implementa antigas de maneira mais rápida, se o risco sistêmico aumenta com a negociação automatizada, se é possível manipular os mercados utilizando-o e se é possível prever preços com ele. Concluimos que a busca por mais velocidade pode reduzir a concorrência devido ao aumento dos custos, que é necessário monitorar as bolsas de valores para que não dêem privilégios aos operadores que usam high frequency trading; que ele não é uma nova estratégia; que é necessário realizar mais pesquisas sobre um possível aumento do risco sistêmico e que apesar do aumento da percepção de comportamentos abusivos nos mercados apenas um caso foi encontrado utilizando-o e que é necessário fazer pesquisas em diferentes mercados de capitais para verificar se é possível ou não prever preços com ele. Levantamos algumas questões que poderiam ser objeto de futuras pesquisas de modo a compreender mais o high-frequency trading.

SUMÁRIO

1	Introdução	6
1.1	Problemática	8
1.2	Objetivo.....	9
1.3	Justificativa	10
1.4	Delimitação	12
1.4.1	O que entendemos por HFT	12
1.5	Metodologia	13
1.6	Organização do trabalho.....	14
2	A importância da velocidade nos mercados de capitais	16
2.1	O uso dos computadores nas operações	17
2.2	Computadores, transmissão de dados e a importância da velocidade	19
2.3	Como os mercados de capitais procuram superar os limites na velocidade de transmissão de dados.....	21
3	Estratégias no mercados de capitais e o HFT.....	24
3.1	Estratégias comuns implementadas com o HFT.....	24
4	Volatilidade de preços e o risco associado ao hft.....	28
5	Comportamentos abusivos nos mercados de capitais e o hft	32
5.1	Algumas evidências de que o HFT pode não contribuir para comportamentos abusivos.....	34
6	Predição de mudanças de preço com o HFT	36
7	Conclusão	38
7.1	Velocidade nos mercados de capitais.....	38
7.1.1	mercados adaptados para o HFT – necessidade de acompanhamento	39
7.2	O HFT cria novas estratégias?	40
7.3	Volatilidade de preços e o risco associado ao HFT	41

7.4 Comportamentos abusivos nos mercados com o HFT	42
7.5 Previsão de preços com o HFT	42
8 Referências bibliográficas.....	44

1 INTRODUÇÃO

Os mercados de capitais se destacam por serem pioneiros na adoção de novas tecnologias. À medida que elas se tornam disponíveis e amplamente adotadas, as operações até então efetuadas são alteradas e novas são introduzidas. As mudanças causadas pela adoção de novas tecnologias podem alterar significativamente o equilíbrio dos mercados, trazendo a necessidade de alterações na estrutura legal em que estes operam.

Uma dessas mudanças, que vem ocorrendo ao longo das duas últimas décadas, foi o crescente emprego de computadores para tomar decisões e executá-las. Negociando com base em resultados obtidos da execução de algoritmos especializados, prática conhecida nos mercados de capitais como *algorithmic trading*, os computadores dispensam a presença de operadores humanos.

No *algorithmic trading* um subgrupo de algoritmos se destaca pela característica de gerar um grande volume de ordens diariamente: o *high-frequency trading* (HFT). Estudo do *Boston Consulting Group* (BCG) (2011) para a *Securities and Exchange Commission* (SEC) estima que o volume de negócios realizados por sistemas HFT passará dos 70%, em 2015, nos Estados Unidos e na Europa.

Apesar do crescimento expressivo, ainda há pouca literatura acadêmica analisando a influência do *algorithmic trading* e do HFT nos mercados de capitais. Em português, é ainda mais escassa. Também existe a dificuldade de levantar dados para uma análise empírica. Brogaard, Hendershott e Riordan (2013) apontam a complexidade de encontrar dados que identifiquem transações usando HFT nos mercados americanos.

No entanto, as dúvidas e questionamentos se avolumam à medida que eventos como a queda do Índice Dow Jones em cerca de US\$ 1 trilhão em 06/10/2010, fenômeno conhecido como *Flash Crash*, são associados ao HFT. (PATTERSON, 2012; ROONEY, 2010).

Por trás de todas essas dúvidas e questionamentos está o que Roberto Teixeira da Costa, primeiro Presidente da Comissão de Valores Mobiliários (CVM), menciona em seu livro:

Os elementos básicos de um investimento são segurança, rentabilidade e liquidez. Esse é o tripé que, independentemente de qualquer alteração, prevalece até hoje. Mudou o mundo, passaram-se os anos, modernizaram-se as instituições financeiras, apareceram novos produtos, novos atores no mercado, mas a essência continua a mesma: segurança, rentabilidade e liquidez, sendo que há uma correlação estreita entre os três. (COSTA, 2006, p.41)

Gomber (2011), ao revisar a literatura sobre o HFT, afirma que a maioria dos autores não encontra evidências de efeitos negativos nos mercados. Ao contrário, argumentam que ele contribui para a liquidez dos mercados além de melhorar a precificação dos ativos; Por outro lado, um estudo do *Department for Business, Innovation & Skills* (BIS) (2011a) alerta para os riscos associados, não inteiramente compreendidos, como uma possível reação exacerbada a novas notícias, aumentando o risco de bolhas.

Vozes respeitadas da área econômica perguntam qual a utilidade do HFT para a sociedade. A crítica do economista Paul Krugman, anterior ao *Flash Crash*, reflete essas posições:

The stock market is supposed to allocate capital to its most productive uses, for example by helping companies with good ideas raise money. But it's hard to see how traders who place their orders one-thirtieth of a second faster than anyone else do anything to improve that social function. (KRUGMAN, 2009)

Noda (2010) menciona que a SEC reconhece que o HFT desempenha um papel importante nos mercados ao proporcionar grande parte da liquidez, mas, por outro lado, tem demonstrado uma grande preocupação com potenciais danos aos interesses dos investidores de longo-prazo.

Já a CVM parece sinalizar ao mercado uma posição favorável ao crescimento do HFT ao autorizar a Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros S.A. (BM&FBOVESPA) a implantar o Acesso Direto ao Mercado (DMA) considerado por esta última um "(...) importante passo em sua estratégia de desenvolvimento de infraestrutura tecnológica e expansão da base de clientes, especialmente investidores conhecidos como de alta frequência (*High Frequency Traders – HFT*)."¹

¹ Conforme notícia divulgada pela BM&FBOVESPA em 09/08/2010 disponível em <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/noticias/2010/CVM-autoriza-BMFBOVESPA-a-implantar-novas-modalidades-de-DMA-no-segmento-BOVESPA-2010-08-09.aspx?idioma=pt-br&tipoNoticia=1>

Também indicando estar estudando a concorrência entre plataforma de negociação, muito utilizada para arbitragem no HFT, a CVM lança o Edital de Audiência Pública SDM no. 05/2013 cujo objetivo é colher "manifestações sobre as opções regulatórias relacionadas à identificação, à mitigação, ao gerenciamento de riscos decorrentes da fragmentação de liquidez e de dados e à possível mudança na estrutura de autorregulação, tendo em vista a hipótese de concorrência entre plataformas de negociação".

Enquanto isso, na Europa, o parlamento alemão propõe uma lei que regula as empresas que operam com HFT, obrigando-as a ter uma presença física no país além de obterem autorização de acordo com a legislação bancária alemã (MORGAN, 2013).

Sobral (2012) aponta que a Bolsa de Oslo aplica uma taxa de 0,05 coroas norueguesas (equivalente a R\$ 0,02 ao câmbio de 24/05/2012) por ordem não executada cada vez que as operações atingem um nível de 70 ordens não efetivadas, para cada efetivada. O autor destaca as palavras de uma autoridade no assunto:

"Nossa visão é de que a alta atividade de ordens em si não é, necessariamente, negativa para o mercado, mas estamos tentando encorajar uma situação na qual todos os tipos de negócio contribuirão para manter a confiança no mercado", afirmou a CEO da bolsa de Oslo, Bente A. Landsnes, em comunicado. (SOBRAL, 2012)

O que se nota é que não há consenso nos discursos e ações sobre o HFT. Dado o papel que os mercados de capitais têm de aproximar os poupadores dos empreendedores que necessitam de recursos para suas empresas, dessa forma acelerando o desenvolvimento econômico, essa falta de consenso traz insegurança para os participantes.

1.1 Problemática

Bonaldi (2010) descreve a percepção que alguns pequenos investidores têm do mercado, de outros participantes, e de si mesmos:

Imagina que um fundo estrangeiro tem, sei lá, 10 milhões de dólares de uma ação brasileira, que você também tem. Aí, eles recebem um sinal da matriz deles lá que é pra vender tudo imediatamente. Eles forçam os preços para baixo muito, muito rápido. Se você é pego numa onda dessas, você fica assustado e vende também, por qualquer preço. Mas aí esse fundo só

estava preparando uma jogada futura, eles voltam comprando a mesma ação por um preço bem menor e o preço da ação acaba voltando ao preço de antes dessa venda. Eles ganharam dinheiro e você e muitas outras pessoas foram enganadas... (BONALDI, 2010, p.6).

Para o mercado de capital florescer uma das condições fundamentais é a de que o investidor se sinta protegido de manipulações.

No entanto, há uma série de dúvidas e questionamentos quanto ao HFT: se ele não deixa o investidor de longo prazo em desvantagem, se não traz riscos adicionais, se não leva ao aumento de custos para os investidores pequenos, se não tira a eficiência dos mercados, etc. Na verdade, não faltam questionamentos sobre o HFT.

Vamos, então, nos concentrar na seguinte questão: como o HFT impacta os mercados de capitais?

1.2 Objetivo

O objetivo desse estudo é compreender como o HFT impacta os mercados de capitais, seus feitos positivos e negativos.

Os objetivos específicos são:

- Entender a importância da velocidade nos mercados de capitais;
- Compreender se o HFT representa uma nova estratégia ou apenas é uma maneira automatizada de implementar as antigas;
- Perceber se o risco aumenta com o uso do HFT;
- Saber se é possível manipular o mercado com ele;
- Inferir se é possível prever preços com ele.

Particularmente, estamos interessados no mercado de capitais brasileiro onde o HFT ainda não é tão presente nas operações diárias (YAZBEK, 2012) como nos Estados Unidos e em alguns países da Europa (BCG, 2011, pág. 30), mas com nítida tendência de crescimento.

1.3 Justificativa

Zhang (2010) afirma que as estratégias que usam HFT são “agnósticas” para preços e não têm interesse intrínseco em dados das empresas, pouco se preocupando com lucros, fluxo de caixa, capital próprio e de terceiro, etc.

Poderia se argumentar que apesar da Análise Técnica já agir dessa maneira, existe espaço para a Análise Fundamentalista. Mas Alexander Elder, guru da Análise Técnica, em relação à negociação de ações a partir de fórmulas matemáticas afirma que “[...] essa é uma ‘fantasia’ que está fadada a um fim breve”. (SANDRINI E WILTGEN, 2010)

Tudo isso sugere o seguinte questionamento: terá sentido as pessoas que irão trabalhar no mercado de capitais aprenderem Finanças, da forma como é feito hoje em dia, ou elas deveriam voltar suas atenções primordialmente para o estudo de Estatística, Matemática, algoritmos, Ciência da Computação, etc., no futuro?

Independentemente da resposta a essa questão, o volume de operações executadas por HFT vem crescendo no mercado de capitais brasileiro, apesar das controvérsias a esse respeito e da ausência de regulamentação específica.

O fato é que tanto o investidor quanto o funcionário de uma instituição participante do mercado de capitais brasileiro já estão ou vão interagir com outros participantes que usam HFT em suas operações. Para serem eficientes nesses momentos, eles precisam compreender o funcionamento do HFT, suas vantagens e limites.

Em seu Relatório Anual de 2012, falando sobre o segmento BOVESPA (segmento de negociação de ações), a BM&FBOVESPA destaca que o número médio de negócios diários realizados entre 2011 e 2012 teve um crescimento de 37,6% e a taxa composta de crescimento anual (CAGR, do inglês *Compound Annual Growth Rate*) entre 2008 e 2012 foi de 33,6%.

Mercados	2008	2009	2010	2011	2012	CAGR 2008-2012	Var. 2012/2011
A vista	195,1	270,6	349,8	476,5	653,0	35,3%	37,1%
Termo	2,2	1,3	1,6	1,1	1,0	-18,8%	-15,5%
Opções	47,8	60,4	79,3	89,6	126,4	27,5%	41,1%
Total	245,1	332,3	430,6	567,2	780,4	33,6%	37,6%

Tabela 1 Evolução do número médio de negócios (mil).
Fonte: Relatório Anual 2012 BM&FBOVESPA, p. 75

Em outra parte do Relatório é mencionado que "O número médio de investidores ativos no segmento Bovespa caiu 3,3% em relação a 2011, de 624,7 mil para 603,9 mil, sendo essa redução quase totalmente explicada pela queda do número de investidores pessoas física." (BM&FBOVESPA, 2013, p.75)

Embora a queda do número médio de investidores ativos em 2012 não tenha sido grande, esta ocorreu junto com um aumento de 37,6% no número médio de negócios diários no mesmo período de tempo. A explicação para esse fato é fornecida no próprio Relatório:

O crescimento entre 2011 e 2012 [...] foi, resultado, principalmente, do aumento da sofisticação dos participantes de mercado e da atuação dos Investidores de Alta Frequência (HFTs, do inglês *High Frequency Traders*), que se caracterizam pela realização de elevado número de negócios com volume médio baixo, reduzindo assim o ticket médio dos negócios (BM&FBOVESPA, 2013, p.75)

Mercados	2008	2009	2010	2011	2012	CAGR 2008-2012	Var. 2012/2011
A vista	5.162,3	4.943,7	6.031,6	6.096,3	6.861,3	7,4%	12,5%
Termo	177,8	96,5	147,4	118,0	103,4	-12,7%	-12,4%
Opções	180,2	245,0	307,9	276,3	280,1	11,7%	1,4%
Total	5.525,5	5.286,8	6.488,6	6.491,6	7.250,7	7,0%	11,7%

Tabela 2: Evolução dos volumes médios diários (em R\$ milhões).
Fonte: Relatório Anual 2012 BM&FBOVESPA, p. 75

A tabela com a evolução dos volumes médios diários (em milhões de reais) mostra que o crescimento percentual destes foi bem inferior ao número médio de negócios. Através dos dados das Tabelas 1 e 2 podemos perceber que o valor

médio do negócio caiu de R\$ 11.445,00 em 2011 para R\$ 9.291,00 em 2012. Esses valores são compatíveis com a explicação da BM&FBOVESPA.

O uso do HFT no Brasil já é uma realidade. E, por isso, entender como impacta o mercado de capitais é tão importante.

1.4 Delimitação

O estudo foca especificamente o impacto do HFT nos mercados de capitais, não levando em consideração o impacto que possa ter sobre os mercados de câmbio, monetário e de crédito, todos eles constituintes do que chamamos de mercado financeiro.

1.4.1 O QUE ENTENDEMOS POR HFT

O termo HFT na literatura sobre o assunto ora é usado para designar algoritmos especializados, ora é usado para designar os participantes dos mercados financeiros que usam tais algoritmos. Conforme a SEC (2010, p. 45) menciona: “*The term is relatively new and is not clearly defined*”.

Nesse estudo, usamos o termo HFT nos dois sentidos: o contexto onde o termo aparece é que irá indicar se nos referimos aos algoritmos ou aos participantes do mercado que o utilizam.

Outra delimitação importante a fazer é estabelecer com mais precisão as diferenças entre o HFT e o *algorithmic trading*.

O HFT é referido como um subgrupo do *algorithmic trading* e ambos são considerados ferramentas que monitoram o mercado em tempo real, tomam decisões conforme os dados coletados, os parâmetros fornecidos e executam automaticamente operações (AHLSTEDT e VILLYSSON, 2012; BROGAARD, HENDERSHOTT e RIORDAN, 2013). Nisso tudo, a única participação humana é fornecer os parâmetros para o sistema que, no caso do Sealth do Deutsche Bank, podem chegar a seiscentos. (KAHIL, 2011)

As características comuns ao HFT e ao *algorithmic trading* são:

- Padronização das decisões;
- Monitoramento do mercado em tempo real;
- Submissão automatizada de ordens;
- Não intervenção humana.

As características específicas do HFT sobre outras ferramentas *de algorithmic trading* são:

- Computadores e programas muito rápidos para gerar, rotear e executar ordens;
- Altíssimo número de ordens de compra e venda;
- Uso do service de *co-location* oferecido pelas bolsas de valores para minimizar a latência (SEC, 2010);
- Rápido cancelamento de ordens;
- Idealmente não mantém posições de um dia para o outro, mantendo-as por curtos períodos de tempo, que podem chegar a menos de um segundo;
- Lucro surge da compra e venda de ações e da coleta de *rebates*;
- Margem baixa de lucro em cada operação;
- Baixa latência é fundamental;
- Negociação de ativos de alta liquidez.

1.5 Metodologia

O nosso objeto de estudo foi um subgrupo de algoritmos, que tomam decisões e executam operações nos mercados de capitais, conhecidos como HFT.

Nesse estudo, tivemos como objetivo fazer uma pesquisa exploratória na literatura sobre o tema. O método utilizado foi o levantamento bibliográfico.

Procuramos entender como o HFT vem impactando os mercados de capitais através das seguintes variáveis:

- Velocidade nos mercados de capitais;
- Estratégias utilizadas;
- Volatilidade dos preços;
- Risco dos mercados;
- Prática de comportamentos abusivos;
- Previsão de preços nos mercados de capitais.

Ao longo desse estudo procuramos padrões e ideias entre os vários autores. Não tivemos como finalidade testar hipóteses.

1.6 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em sete capítulos, incluindo-se a Introdução e a Conclusão.

A revisão da literatura está compreendida entre o segundo e o sexto capítulo:

- O segundo capítulo aborda a importância da velocidade nos mercados de capitais;
- No terceiro capítulo verificamos se o HFT representa uma nova estratégia ou se é apenas uma forma de implementar as antigas de maneira automatizada;
- O quarto capítulo estabelece as diferentes posições sobre a volatilidade de preços e o risco associado ao HFT;
- No quinto capítulo revisamos a literatura sobre os possíveis comportamentos abusivos que podem ser praticados nos mercados de capitais utilizando-se o HFT;
- No sexto capítulo analisamos as discussões da literatura sobre a capacidade dos algoritmos de HFT predizerem mudanças de preço.

O sétimo capítulo trata da conclusão do estudo, em que analisamos como o HFT impacta nos mercados de capitais, e seus possíveis efeitos nocivos sobre

estes. Também sugerimos algumas questões que podem ser objeto de estudos futuros.

2 A IMPORTÂNCIA DA VELOCIDADE NOS MERCADOS DE CAPITALS

O rápido acesso à informação, desde o surgimento das primeiras bolsas de valores na Europa há alguns séculos, sempre foi um dos recursos mais valorizados pelos investidores.

Notícias sobre guerras, chegadas e afundamentos de navios, etc., eram enviadas dos campos de batalha, dos portos e de onde aconteciam eventos importantes para os locais onde estavam situados os mercados de capitais por meio de navios e mensageiros a cavalo.

Ter acesso às informações antes dos demais participantes do mercado era tão importante que muitos financistas tinham seus próprios mensageiros e cavalos: quem tivesse os cavalos mais rápidos recebia as novas informações antes dos demais e poderia obter lucros com elas antes que se tornassem amplamente conhecidas no mercado. (BIS, 2012b)

Ainda mais rápidos e baratos do que os cavalos eram os pombos. Ficou na história o uso de pombos-correio por Nathan Rothschild:

Famously, the London-based trader Nathan Rothschild had carrier pigeons sent to the scene of the Battle of Waterloo; they were released immediately after Napoleon's surprise defeat, and Rothschild learnt of the British victory long before anyone else in London (even the UK Government), which allowed him to buy large amounts British bonds shortly before they soared in value on the news that Britain was now the dominant nation in Europe. (DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS, 2012b, p. 5)

Devido à precariedade dos meios de comunicação e às longas distâncias, as primeiras instituições financeiras precisavam ter suas instalações físicas próximas dos locais onde estavam situados os mercados. Essa necessidade levou ao surgimento de bolsas de valores em várias cidades, bem como de centros e distritos financeiros nestas. No Reino Unido, em 1964, ainda existiam pelo menos 22 bolsas de valores independentes, quase todas fundadas no início do século XIX. (BIS, 2012b)

O invento do telégrafo e, posteriormente, da telefonia, na segunda metade do século XIX, ambos rapidamente adotados pelos mercados de capitais, tornou obsoleto o uso de cavalos e mensageiros para obter rápido acesso à informação. Além de causar a obsolescência dessas antigas redes de comunicação, o progresso

dos meios de comunicação levou a um gradual declínio das bolsas de valores menores.

A comunicação por telefone foi a tecnologia marcante dos mercados financeiros nos primeiros 70 anos do século XX, juntamente com o registro em papel das transações. Conforme destaca o Department for Business Innovation,

Michael Bloomberg, in Chapter 7 of his autobiography (2001), describes how the information handling system at his then-employers Salomon Brothers in the early 1970's was essentially the same paper-based system that had been operational at the firm's foundation in 1911. (DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS, 2012b, p. 6)

2.1 O uso dos computadores nas operações

À medida que o desempenho dos computadores progrediu, tornou-se cada vez mais comum que os operadores negociassem nos mercados utilizando as informações exibidas por meio destes.

Das negociações feitas a partir das informações exibidas nas telas dos computadores, para a execução automática das operações foi um progresso rápido. No entanto, a automatização das operações trouxe o risco sistêmico decorrente da interação entre vários computadores, em geral mal programados: a “Segunda-feira Negra”, a quebra da Bolsa de Valores de Nova York, em Outubro de 1987, foi atribuída por muitas pessoas ao disparo automático de ordens de venda à medida que os preços iam caindo.

Na década seguinte, com os preços dos computadores em queda, o gerenciamento de fundos de investimentos passou a ser feito cada vez mais através de técnicas estatísticas que dependiam do computador para executar os cálculos. Montagem de carteiras ótimas, arbitragem estatística, etc., tornaram-se largamente empregadas devido à crescente utilização de computadores e ao aumento da velocidade com que estes executavam os cálculos necessários.

No entanto, em 1998, a quebra do fundo de *hedge* Long Term Capital Management (LTCM), que não arrastou todo o mercado junto devido à intervenção do Federal Reserve, e de um consórcio de bancos, alertou os mercados para o fato de que mesmo com o emprego de técnicas estatísticas sofisticadas nas estratégias de negociação não se afasta totalmente os riscos.

Apesar dessas duas crises agravadas pelo uso dos computadores, na primeira década do século XXI, a automatização das operações foi combinada com o uso de técnicas estatísticas nas estratégias de negociação. Com o aumento exponencial da capacidade de processamento dos computadores, ao mesmo tempo em que seus preços declinavam, foi possível desenvolver sistemas muito mais sofisticados.

Esses sistemas eram baseados em cálculos matemáticos oriundos da modelagem estatística e da teoria das probabilidades. Algoritmos eram escritos para executar os cálculos e operações necessários.

A primeira geração desses sistemas se concentrava na automatização das operações e não na decisão de comprar ou vender ativos ou converter uma moeda em outra: a decisão ainda era tomada por seres humanos. A partir do momento que a decisão era tomada, a execução ficava a cargo do sistema.

Uma das principais razões para o desenvolvimento de sistemas que automatizavam as operações foi diminuir o impacto que as grandes transações provocavam no mercado (BIS, 2012b). Se uma grande operação (uma venda de ações, por exemplo) pudesse ser dividida em vendas menores, colocadas ao longo de um período de tempo, poderia gerar um menor efeito no mercado, permitindo obter-se um melhor preço por ação.

À medida que tais sistemas tornaram-se mais comuns, e com o crescimento da confiança nestes, muitas instituições começaram a experimentar estratégias mais sofisticadas de execução automatizada: algoritmos cada vez mais complexos começaram a ser utilizados para identificar e implementar diferentes estratégias de negociação. Daí nasce o conceito de negociação baseada em algoritmos (*algorithmic trading*) e os operadores do mercado passam a chamar seus sistemas de robôs.

Ao mesmo tempo em que estavam sendo desenvolvidos sistemas para automatizar as operações, outros estavam sendo concebidos para usar técnicas estatísticas a fim de identificar possibilidades de arbitragem nos mercados. Analisando e correlacionando dados sobre preço e volume de milhares de ativos, em

escala global, é possível identificar desequilíbrios temporários nos mercados, e ganhar com isso.

A convergência da escolha da estratégia de negociação determinada por cálculos estatísticos, automatização de operações, acesso direto ao mercado e, em alguns países, a possibilidade de concorrência entre diferentes plataformas de negociação, levou ao desenvolvimento de algoritmos especializados, genericamente conhecidos como *high-frequency trading* (HFT), em que sistemas automatizados compram e vendem em mercados de capitais eletrônicos, às vezes mantendo sua posição por poucos segundos, ou até menos.

Um sistema feito para HFT compra uma quantidade de ações (ou qualquer outro ativo) mantendo-a por poucos segundos e depois a vende: se o preço subiu nesses poucos segundos e se o custo de transacionar é baixo, então o sistema obteve lucro. O lucro de manter uma posição por tão pouco tempo tem pouca probabilidade de ser grande, e pode ser de apenas alguns centavos; mas um sistema de HFT é totalmente automatizado e pode criar um fluxo constante de centavos por segundo, 24 horas por dia, resultando em um ganho considerável ao longo do dia.

2.2 Computadores, transmissão de dados e a importância da velocidade

Hoje, tal como há 200 anos, quando os financistas mantinham seus próprios mensageiros e cavalos, ter acesso mais rápido à informação pode resultar em substanciais lucros antes que esta se torne amplamente disseminada.

O que se busca é reduzir a latência com que se recebe e se envia dados. As tecnologias empregadas na transmissão estão na escala de tempo do milissegundo (ms). Mas, com a globalização dos mercados de capitais, até mesmo a latência decorrente de alguns milissegundos é um elemento complicador para as operações.

O BIS (2012b) calcula que dados transmitidos de Nova York para Londres, a cerca de 5.500 km de distância terão uma latência de, pelo menos, 18 ms. Se tais dados forem usados para tomar uma decisão de investimento, até que a ordem retorne a Nova York serão, pelo menos, mais 18 ms. Na prática, um investidor em Nova York, próximo aos servidores que controlam as operações, terá uma vantagem

de pelo menos 36 ms sobre um localizado em Londres. Embora em uma escala humana tal espaço de tempo seja inferior ao de um piscar de olho, computadores com CPUs na casa dos giga hertz (GHz) podem fazer muitos cálculos e operações nesse intervalo de tempo.

Um computador cujo processador tenha a frequência de 3 GHz pode, em 36 ms, executar 108 milhões de instruções simples ou passos de um algoritmo. A Intel (2011?) especifica que seu processador Intel i5 4670K, pode chegar até a frequência de 3,8 GHz. E este é um processador largamente comercializado no mercado.

E, como é possível dividir a execução do algoritmo em vários processadores independentes e combinar o resultado deles dentro do mesmo espaço de tempo, a vantagem de um investidor localizado mais próximos dos servidores que controlam as operações aumenta ainda mais.

Um banco de investimentos ou um fundo de *hedge* tipicamente usam servidores (computadores) *blade* (servidor modular incorporado em um chassi que fornece resfriamento, energia e gerenciamento compartilhado) para executar seus algoritmos. (BIS, 2012b).

Num *rack* (espécie de armário para guardar servidores e equipamentos relacionados) de 19 polegadas é possível colocar 50 ou mais servidores *blade*. E cada servidor pode contar com um, dois ou até quatro processadores, cada um deles chegando a ter até dezesseis núcleos de processamento. Um poder computacional em cada *rack* que pode chegar a ser 3.200 vezes maior do que um micro computador de uso pessoal. E é possível juntar vários *racks* para formar um centro de dados.

A capacidade de executar centenas de milhões (ou até mesmo bilhões) de instruções em servidores processando um algoritmo durante o período de latência que outro operador tem para receber e enviar dados permite ao primeiro obter uma vantagem competitiva sobre o segundo.

2.3 Como os mercados de capitais procuram superar os limites na velocidade de transmissão de dados

Como foi dito, em termos da importância de se ter acesso mais rápido aos dados e informações, nada mudou em relação aos financistas de mais de 200 anos atrás. No entanto, enquanto esses últimos podiam ter a esperança de comprar um cavalo mais rápido ou desenvolver uma tecnologia que permitisse uma comunicação mais rápida, os financistas atuais encontraram um limite físico dado pela velocidade da luz.

Como a tecnologia atual empregada na transmissão de dados não permite um aumento exponencial na velocidade de comunicação, uma das soluções encontradas para reduzir ou igualar a latência dos operadores foi colocar os servidores destes o mais próximo possível dos que controlam as operações dos mercados de capitais e pertencem às bolsas de valores. Esse processo ocorreu em quase todas as bolsas, inclusive na BM&FBOVESPA, a partir de 2010, e é conhecido como *co-location*. (BM&FBOVESPA, 2010).

Igualada a latência entre os operadores, novas maneiras de se obter vantagens competitivas foram buscadas: executar os algoritmos em servidores mais velozes do que os dos competidores e reescrever os algoritmos para que fossem executados mais rapidamente.

Em relação aos servidores, duas soluções foram propostas. A primeira delas usa uma técnica idêntica à encontrada em processadores de placas de vídeo de micro computadores que, conforme citação abaixo, são denominados GPUs:

Because rendering graphics on a computer screen is a task that is readily parallelizable, the n in n-core GPUs is often much higher: hundreds of cores are simultaneously active in the single GPUs commonly installed in mid-range PCs available on the high street. [...] Each of those computers is very simple, and can only run small programs that were intended to be aimed at painting pixels on a screen, but with some smart programming maneuvers it is possible to get each of the simple computers in the GPU to do something that is useful in a financial-market context, and their combined effort can yield lightning-fast results that would otherwise require several racks full of blade servers in a data-centre to achieve. (DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS, 2012b, p. 18-19)

Hoje os fabricantes de processadores para placas de vídeo oferecem produtos que suportam diferentes tipos de cálculos e não apenas os necessários para produzir gráficos. A outra solução foi inserir o algoritmo no processador:

Instead, the algorithm is (automatically) converted into a circuit diagram of logic gates beforehand, and those logic gates are then wired together on a silicon chip. When the program is to be run (that is, when the algorithm is to be executed) the circuit on the chip is simply activated and it performs its job without any fetching or executing of instructions: the algorithm has been “cast in silicon”. (...) These reconfigurable chips are known as field-programmable gate arrays (FPGAs). (DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS, 2012b, p. 19)

Ambas as soluções estão sendo incorporadas nos servidores dos operadores dos mercados de capitais. Em agosto de 2011, por exemplo, o Deutsche Bank anunciou a expansão da sua solução baseada em FPGA (“ultra FPGA”) para todas as bolsas dos Estados Unidos. Os números são impressionantes:

Correlix RaceTeam™, an independent latency monitoring service, recently measured ultra FPGA’s pre-trade risk management gateway latency at 1.35 microseconds for OUCH® messages sent to NASDAQ and 1.75 microseconds for Financial Information eXchange (FIX) messages. These measurements are the fastest of any such device that has been independently verified, and are extremely consistent, with a variance of less than 10 nanoseconds. Latency and variance numbers were measured using a sample set of 15 million messages sent continuously across 10 sessions with a rate of 8,000 orders per second. (DEUTSCHE BANK, 2011)

Quanto aos algoritmos, foram várias as soluções encontradas:

- Reescrevê-los para que os cálculos matemáticos sejam feitos em menor tempo;
- Substituição de métodos de análise estatística precisos, porém mais lentos por exigirem manipulação de grandes matrizes, por técnicas de aprendizado de máquina com aproximações inexatas, porém mais rápidas.

Vale também mencionar que um dos impulsionadores do desenvolvimento da tecnologia conhecida como *Big Data* foi a necessidade de correlacionar os preços de uma grande quantidade de ativos financeiros ao longo de um vasto período, com dados cujos montantes atingiam a ordem de teras ou petabytes, e em um espaço de tempo reduzido:

If a financial institution can afford to fill a warehouse-sized building with compute servers, it can now use Hadoop and other open-source tools (see e.g. Janert, 2011) to analyze petabyte-scale financial data sets. If a financial

institution, or individual trader, cannot afford a warehouse full of computers then that is not necessarily a problem because such warehouses can now be remotely accessed and cheap rental paid on a by-the-hour basis(...). (DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS, 2012b, p. 21)

Gomber (2011) menciona o desenvolvimento de algoritmos para ler notícias, empregando métodos estatísticos e técnicas de mineração de textos para prever o impacto que estas causarão no mercado. Isso pode significar, por exemplo, tomar decisões com base em postagens do Twitter. A queda do índice S&P 500 de 140 pontos (aproximadamente US\$ 200 bilhões) em dois minutos, devido a uma falsa notícia postada em 23/04/2013, informando que uma explosão na Casa Branca havia ferido o Presidente Barack Obama parece um indício de que muitos investidores estão usando esses dados.

3 ESTRATÉGIAS NO MERCADOS DE CAPITALIS E O HFT

Gomber (2011) afirma que o HFT é um meio técnico de implementar estratégias de negociação conhecidas e que não é uma estratégia em si. Nesse sentido também afirma que a discussão sobre a regulamentação deve estar voltada para as estratégias empregadas e não ao HFT em si.

Salienta-se que o emprego de estratégias de negociação nos mercados de capitais é anterior ao desenvolvimento de algoritmos computadorizados. O emprego, da arbitragem, por exemplo, é muito antigo.

Em entrevista à Exame.com, André Rosenblit, chefe da corretora do Deutsche Bank no país, menciona o emprego de estratégias pelo operador de pregão bem antes do HFT:

Há 10 anos o mercado acionário tinha o operador de pregão, que negociava aos berros. Mas eles também tinham as estratégias, como ficar em silêncio ou simular a intenção de comprar, porém com o objetivo de vender. Existia um teatro muito grande. Hoje o que predomina é o pregão eletrônico. Os algoritmos agora é que tentam copiar o ambiente de pregão para o mercado eletrônico. (KAHIL, 2011)

Ao empregar algoritmos computadorizados para analisar o mercado ou um ativo, é possível obter-se indicadores para decidir rapidamente por uma estratégia. Obviamente, a vantagem dos computadores é serem muito mais rápidos que o ser humano para fazer o mesmo processo.

Dessa forma, tanto o *algorithmic trading* quanto o HFT não criam estratégias: apenas executam as que já existiam, assim como executarão as que ainda serão criadas, de maneira muito mais rápida.

Convergem nesse sentido as palavras da SEC ao discutir algumas estratégias comumente empregadas no HFT: “The Commission notes that many of the trading strategies discussed below are not new. What is new is the technology that allows proprietary firms to better identify and execute trading strategies.” (SEC, 2010, p. 48)

3.1 Estratégias comuns implementadas com o HFT

As estratégias usadas com o HFT são normalmente simples, embora se trate de um segredo comercial das empresas a forma de implementação das mesmas.

Gomber (2011) menciona algumas estratégias conhecidas e que, provavelmente, são as mais utilizadas com o HFT:

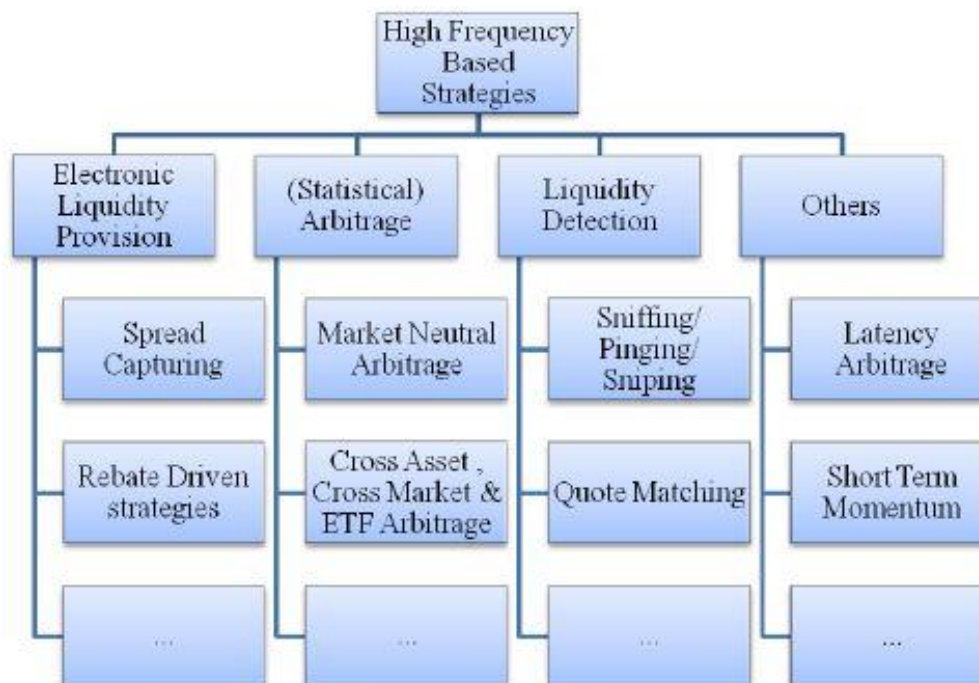


Figura 1: Estratégias empregadas com o HFT
Fonte: Gomber (2011), pág. 25

- *spread capture*: simula o papel de um formador de mercado tradicional, no entanto, sem as obrigações deste, ganhando com a diferença de preço entre a oferta e a procura;
- *rebate driven*: aproveita-se do fato de que alguns canais de negociação (bolsas de valores, *dark pools*, etc), para enfrentar a concorrência, adotem preços diferenciados para quem leva liquidez aos mercados ou até mesmo oferecem bônus para isso;
- *market neutral arbitrage*: essa estratégia se aproveita da correlação de ativos. Os ganhos vêm da diferença de preços entre o momento que se assume uma posição e o momento em que esta é liquidada. Como os computadores são muito mais rápidos para analisar os mercados em busca de oportunidades de arbitragem, que duram por pequenos espaços de tempo, essa estratégia vem aumentando de importância para quem utiliza o HFT;

- *cross asset, cross market & exchange traded fund arbitrage*: negocia ativos entre os mercados financeiros (não apenas os de capitais) ou negocia ativos relacionados se aproveitando de ineficiências entre os mercados. Se um ativo apresenta diferença de preços entre os mercados, ele é comprado no mercado onde seu preço é menor e é vendido onde sua cotação é maior. Tal estratégia se aproveita da fragmentação dos mercados e de diferentes plataformas de negociação e é extremamente dependente da velocidade, já que tais ineficiências duram muito pouco. Não custa lembrar que a CVM ao lançar o Edital de Audiência Pública SDM no. 05/2013 parece estar estudando a concorrência entre as plataformas de negociação;
- *liquidity detection*: tenta identificar o comportamento de outros participantes do mercado e se ajustar para isso. Seu foco é identificar grandes ordens (até mesmo quando elas foram divididas em menores e serão executadas através de *algorithmic trading*) para se aproveitar do impacto delas nos preços. Costuma enviar pequenas ordens para verificar se há uma grande ordem aguardando para ser executada. Se a ordem pequena for executada rapidamente é possível que exista uma maior por trás. A SEC (2010) chama-as de “*directional*” *strategies*;
- *latency arbitrage*: se aproveita da maior velocidade que os computadores rodando algoritmos têm para receber e interpretar os dados do mercado. É considerada “predatória” por prejudicar outros participantes;
- *short-term momentum strategies*: uma estratégia que simula as operações feitas pelos day-traders. Gomber (2011) alerta que, ao contrário de outras estratégias empregadas no HFT, essa tira liquidez do mercado. Zhang (2010) também menciona que elas aumentam a volatilidade dos preços.

O BIS (2012a) argumenta que apesar da profusão de nomes das estratégias nas discussões de órgãos reguladores e meios acadêmicos, muitas delas não são novas e sequer requerem baixa latência para serem implementadas.

O HFT facilita a implementação dessas estratégias ou torna-as mais rentáveis, mas não constitui uma estratégia em si. E, caso elas tenham um impacto negativo no mercado, Gomber (2011) afirma a necessidade de que sejam diretamente investigadas, independentemente de quem as esteja utilizando.

4 VOLATILIDADE DE PREÇOS E O RISCO ASSOCIADO AO HFT

Segundo Bushee e Noe (apud ZHANG, 2010, pág. 7) uma alta volatilidade do preço da ação é potencialmente indesejável tanto para os investidores quanto para as empresas. Investidores com aversão ao risco normalmente requerem um maior retorno para terem em carteira ações com muita volatilidade. Sob a ótica da empresa, uma alta volatilidade do preço de suas ações pode aumentar a percepção do risco destas, aumentando assim o seu custo de capital. (FROOT, PEROLD e STEIN, 1992 apud ZHANG, 2010, pág. 7)

Cvitanic e Kirilenko (2010) modelaram um mercado eletrônico com participantes de baixa frequência (humanos) e de alta frequência (computadores); esses últimos não tinham informação superior, sua única vantagem era a velocidade de colocar e cancelar ordens. A conclusão dos autores é que:

- a presença de negociadores de alta frequência diminui a volatilidade, ao concentrar os preços em torno da média;
- aumenta a capacidade de previsão de preços.

A SEC também observou um comportamento “suave” nos mercados de capitais americanos, conforme seu *Release* No. 34-61358, a respeito do uso do HFT em 2008:

The Commission notes that, from an operational standpoint, the equity markets performed well during the worldwide financial crisis in the autumn of 2008 when volume and volatility spiked to record highs. Unlike some financial crises in the past, the equity markets continued to operate smoothly and participants generally were able to trade at currently displayed prices (though most investors likely suffered significant losses from the general decline of market prices). (SEC, 2010, p. 64-65)

Brogaard, Hendershott e Riordan (2013) não encontram evidências diretas de que o HFT contribua para a instabilidade de preços no mercado. Também mencionam o papel que o HFT teve em reduzir discrepâncias de preços nos dias de maior volatilidade durante o período de 2008-2009, o mesmo referido pela SEC.

Gomber (2011) relata que muitos dos estudos acadêmicos sobre HFT são empíricos e concluem que não existem evidências de efeitos negativos.

Já Zhang (2010) cita estudo que aponta que os mercados funcionam de forma menos eficiente com a presença de investidores de curto prazo, caso típico de quem usa HFT:

When investors trade stocks on the basis of information about firm fundamentals, in equilibrium stock prices converge to their fundamental values (e.g., Ball and Brown 1968; Kothari 2001; Lee 2001). However, when most trades are based on statistical and often short-lived correlations in stock returns and investors do not hold stocks for the investment purpose (HFT traders typically do not carry any position overnight), the presence of efficient pricing becomes more questionable. Theoretical models (Froot, Scharfstein, and Stein 1992) show that a market with more short-horizon traders performs less efficiently than one with long-term investors, possibly because short-horizon traders may choose to study information unrelated to fundamentals. (ZHANG, 2010, p. 1-2)

O autor também encontra correlação positiva do HFT com a volatilidade dos preços das ações, principalmente em períodos de maior instabilidade do mercado, e verifica que ele está negativamente relacionado com a habilidade do mercado de incorporar novas notícias sobre os dados dos ativos. Segundo o autor, os preços das ações reagem em excesso aos novos dados quando muitas ordens são executadas por meio do HFT.

Ericsson e Fridholm (2013) mencionam o estudo de Boehmer *et al.* (2012) que conclui que, quanto maior a negociação com algoritmos, ao mesmo tempo que melhora a eficiência e a liquidez dos mercados, aumenta a volatilidade destes. Ericsson e Fridholm (2013) lembram que o receio que o HFT e o *algorithmic trading* criem excessiva volatilidade pode estar ligado ao fato de os algoritmos precisarem ser programados para seguir certas regras, obviamente, por não terem o instinto, a capacidade de julgamento e a diversidade dos operadores humanos.

Parece não existir resposta óbvia entre os autores sobre se o HFT aumenta ou não a volatilidade de preços. O uso de uma determinada estratégia pode reduzir ou aumentar a volatilidade de preços. Essa questão é bem exposta por Zhang (2010):

- A utilização do HFT, principalmente com estratégias que simulam o papel de um típico fazedor de mercado, pode reduzir a volatilidade já que este provisiona liquidez e permite que grandes ordens sejam colocadas sem afetar de forma significativa os preços;

- Por outro lado, a interação entre o HFT e investidores fundamentalistas pode aumentar a volatilidade do preço das ações por pelo menos três razões: (1) a execução automatizada de grandes ordens por investidores fundamentalistas, que tipicamente usam o volume de negócios como indicador de liquidez, pode levar a movimentos de preços excessivos, principalmente se o algoritmo automatizado não levar em consideração preços; (2) o uso de estatísticas que mostram correlações de curto prazo entre ações pode levar a um grande volume de ordens unidirecionais (compra ou venda) e (3) algoritmos de HFT podem detectar grandes ordens de investidores institucionais e “forçar” os preços para cima ou para baixo utilizando a estratégia de *liquidity detection*.

Estudo do BIS aponta que o HFT pode ser considerado como um acelerador do tempo, influenciando nossa percepção:

If nothing else, HFT can be understood as accelerating time, so to speak. Indeed, take in consideration that HFT accounts for most of the volume. Take the limit where it is all the volume. Then the whole market is moving at the HFT rate. Now, imagine a movie in which you slow down frame by frame. Then, HFT slows down and becomes low frequency trading, such as daily trading. If the correspondence is 1 second of HFT corresponds to 1 day of low frequency trading in 1962, say, then one crash per year in 1962 would correspond to one crash every 4 minutes in HFT time ! This reasoning is of course naïve and misses a lot of ingredients, but it nevertheless captures what is a key aspect of the problem. By definition and intrinsically by its time-acceleration nature when it dominates the trading volume, HFT will give many more crashes per unit calendar time (not per unit transaction time or HFT time). (DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS, 2012a, p. 14)

Nesse mesmo estudo do BIS é apontada a necessidade de melhor compreender a relação entre o volume de negociação e o risco sistêmico, o relacionamento entre diferentes métodos de análise e negociação (HFT, não HFT, análise fundamentalista e técnica). São também apontadas algumas questões que precisam de respostas:

- Existe um volume certo de liquidez?
- Qual a melhor combinação de estratégias que maximiza o bem estar social?

Em outro estudo do BIS (2011c) é levantada a questão de que o risco esteja na interação não percebida entre sistemas automatizados, que podem produzir dinâmicas imprevistas e indesejáveis de preços. Tais dinâmicas podem fazer com que os participantes percam ou ganhem de forma aleatória, aumentando o custo de capital das empresas e reduzindo a confiança.

5 COMPORTAMENTOS ABUSIVOS NOS MERCADOS DE CAPITAIS E O HFT

Segundo o BIS (2012a), economistas e reguladores identificam dois tipos de comportamento abusivo nos mercados de capitais: uso de informações privilegiadas e manipulação de mercado. A diferença entre ambos é que o primeiro lucra com os movimentos de preços já esperados, enquanto o segundo tenta alterar os preços para lucrar com isso.

O uso de informações privilegiadas envolve executar operações com base em informações que não são publicamente conhecidas no momento, mas com potencial de alterar os preços no futuro. O BIS (2012a) chama a atenção para o fato de que uma informação só pode ser considerada privilegiada quando foi obtida sem custo. É exatamente nesse ponto que está a diferença entre um investidor que gasta recursos processando dados para daí extrair informações, o que é permitido, e outro que as obtém sem custo antes dos demais participantes e lucra com isso, o que é ilegal.

A manipulação de mercados envolve mover preços temporariamente para cima ou para baixo e, antes que estes voltem ao equilíbrio, o participante se desfaz de sua posição obtendo lucro. Os preços podem ser manipulados de duas maneiras principais:

- Aparentando estar mais bem informado por meio de blefe, que pode ser feito através de vários canais, inclusive grupos de discussão na internet;
- Mais comumente por intermédio da execução de operações, exercendo pressão temporária sobre os preços, aproveitando-se que os mercados não têm perfeita liquidez: “In a fully liquid market, prices only move in response to the release of new information relevant to future security payoffs” (BIS, 2012a, pág. 6).

Tais comportamentos abusivos não são novidade: os órgãos reguladores dos mercados de capitais têm normas proibindo-os, muito antes dos computadores estarem tomando decisões e executando operações.

No Brasil, por exemplo, temos o Art. 27-C da Lei 6.385 ("Lei da CVM"), que data de 1976:

Art. 27-C. Realizar operações simuladas ou executar outras manobras fraudulentas, com a finalidade de alterar artificialmente o regular funcionamento dos mercados de valores mobiliários em bolsa de valores, de mercadorias e de futuros, no mercado de balcão ou no mercado de balcão organizado, com o fim de obter vantagem indevida ou lucro, para si ou para outrem, ou causar dano a terceiros:

Pena – reclusão, de 1 (um) a 8 (oito) anos, e multa de até 3 (três) vezes o montante da vantagem ilícita obtida em decorrência do crime.

Segundo o BIS (2012a), é quase uma visão comum entre os vários órgãos reguladores dos mercados de capitais que a vantagem em velocidade do HFT permite que muitas participantes utilizem novas formas de manipulação: *“Regulatory and academic discussions of HFT produce lists of colourful names describing alleged manipulative HF strategies. There is mention of ‘quote stuffing’, ‘smoking’, ‘spoofing’, ‘momentum ignition’, ‘book layering’, etc.”* (BIS. 2012a, p.19). No entanto, muitas dessas estratégias não são novas e não é óbvio que elas requeiram baixa latência.

Também nesse sentido, o BIS (2012a) questiona se o HFT alterou as estruturas dos mercados de modo a facilitar comportamentos abusivos, e conclui que embora tenha ocorrido um aumento na diferença de percepção do mercado entre os participantes, isto não é algo novo e pode não representar comportamentos abusivos. Isso porque, negociantes mais bem informados sempre tentaram tirar vantagem de terem acesso primeiro aos preços “reais”. Da mesma forma, a velocidade de acesso aos dados do mercado sempre foi uma função dos investimentos feitos para isso.

Tentamos localizar na literatura casos concretos de comportamentos abusivos nos mercados com o uso do HFT. Em parte confirmando os argumentos do BIS, só conseguimos achar um único caso concreto documentado: uma simulação de interesse em comprar ou vender um ativo, por meio da colocação de ordens que eram rapidamente canceladas.

Trata-se da multa aplicada pela *Financial Industry Regulatory Authority* (FINRA), em 2010, sobre a firma *Trillium Brokerage Services, LLC*, ambas americanas:

WASHINGTON — The Financial Industry Regulatory Authority (FINRA) today announced that it has censured and fined New York-based Trillium Brokerage Services, LLC, \$1 million for using an illicit high frequency trading strategy and related supervisory failures. Trillium, through nine proprietary traders, entered numerous layered, non-bona fide market moving orders to generate selling or buying interest in specific stocks. By entering the non-bona fide orders, often in substantial size relative to a stock's overall legitimate pending order volume, Trillium traders created a false appearance of buy- or sell-side pressure.

This trading strategy induced other market participants to enter orders to execute against limit orders previously entered by the Trillium traders. Once their orders were filled, the Trillium traders would then immediately cancel orders that had only been designed to create the false appearance of market activity. As a result of this improper high frequency trading strategy, Trillium's traders obtained advantageous prices that otherwise would not have been available to them on 46,000 occasions. Other market participants were unaware that they were acting on the layered, illegitimate orders entered by Trillium traders. (FINANCIAL INDUSTRY REGULATORY AUTHORITY, 2010)

Isso não é algo novo, é uma estratégia antiga de tentativa de manipulação do mercado - em inglês conhecida como *layering*. Com o HFT esse fato é muito facilitado pela velocidade de colocação e cancelamento de ordens. A SEC classifica essa estratégia manipulativa no grupo a que denomina “*momentum ignition strategies*” e menciona o seu potencial de danos: “*This type of strategy may be most harmful in less actively traded stocks, which may receive little analyst or other public attention and be vulnerable to price movements sparked by a relatively small amount of volume*”. (SEC, 2010, p. 57).

Ressalte-se que o fato de só localizarmos um único caso concreto de comportamento abusivo pode, ao invés de confirmar as argumentações do BIS, dar razão à Aitken (apud BIS, 2012a, pág. 28): quando ele diz que em termos de sofisticação e, com isso, habilidade para fazer negócios irregulares, os órgãos reguladores estão atrás das bolsas de valores que, por sua vez, estão atrás dos participantes.

5.1 Algumas evidências de que o HFT pode não contribuir para comportamentos abusivos

O BIS (2012a) não nega que houve um aumento na percepção de comportamentos abusivos e de injustiça entres os participantes nos mercados

dominados pelo uso do HFT, mas não consegue identificar uma relação clara com a realidade.

De forma até surpreendente, se levarmos em conta o relatório do BIS (2012a), Brogaard (2010), ao examinar o papel do HFT nos mercados de capitais norte-americanos chega à conclusão de que os participantes que utilizam HFT não conseguem sistematicamente obter vantagens (*front run*) sobre os que não utilizam.

Kearns, Kulesza e Nevmyvaka (2010), utilizando dados da NASDAQ, concluem que o lucro máximo teórico do HFT foi de menos de 0,05% (US\$ 3,4 bilhões) do volume total de negócios de 2008, estimado por eles em US\$ 52 trilhões: "*a figure any individual person or trading group would be happy to reap, but perhaps small considering the omniscience assumption and high liquidity of these stocks.*" (KEARNS, KULESZA E NEVMYVAKA, 2010, pág. 7). Brogaard (2010), mesmo apontando limitações em seu estudo, chega ao número de US\$ 3 bilhões.

Brogaard (apud BIS, 2011b, pág. 11) também especula se a lucratividade do HFT não irá cair à medida que ocorre seu "amadurecimento".

O resultado desse levantamento bibliográfico parece legitimar a afirmação: "*The profits of HFT need to be put in context to determine whether they are extracting rents or whether they are being compensated for socially valuable services.*" (DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS, 2011b, pág. 4)

É evidente que o que preocupa no HFT é exatamente o que ainda não é conhecido. O HFT só passou a ser uma preocupação para os reguladores e acadêmicos mais recentemente, quando se tornou tão dominante em alguns mercados que foi impossível ignorá-lo. (BIS, 2012a, pág. 12). Sendo assim, com conclusões contraditórias, percebe-se que ainda há muito a ser estudado.

6 PREDIÇÃO DE MUDANÇAS DE PREÇO COM O HFT

Brogaard, Hendershott e Riordan (2013), utilizando dados fornecidos pela NASDAQ, apontam que operadores que usam HFT conseguem prever mudanças de preços: "HFTs predict price changes occurring a few seconds in the future." (BROGAARD; HENDERSHOTT; RIORDAN, 2013, P. 33)

Uematsu (2012) analisa dados de HFT da BM&FBOVESPA e, após o emprego de um teste não paramétrico, verifica que estes não possuem a propriedade Markoviana²:

Caso a propriedade Markoviana tivesse sido satisfeita pelos dados da BM&FBOVESPA poderíamos, eventualmente, ter elaborado um algoritmo, com tomada de decisão (entra ou sai de posição), baseado na probabilidade de transição de estados para o spread entre os preços Ask e Bid. (UEMATSU, 2012, p. 39)

Note-se que, embora analisando dados de diferentes mercados, as conclusões de Brogaard, Hendershott e Riordan (2013) e Uematsu (2012) parecem se complementar.

Vale lembrar também Cvitanic e Kirilenko (2010) que, no estudo em que modelaram um mercado eletrônico, concluíram que negociantes de alta frequência aumentam a capacidade de previsão de preços.

Como os algoritmos são segredos comerciais das empresas que os desenvolvem, não há como ter certeza que já existam alguns que operem com base em previsões. No entanto, algumas evidências empíricas nos sugerem que isso já está sendo feito há algum tempo.

Em seu trabalho, Uematsu (2012) conclui que existem grandes equipes, formadas por mestres e doutores, trabalhando no desenvolvimento de algoritmos de negociação em grandes fundos de investimentos e que a quantidade de formas existentes desses algoritmos também é grande.

A esse respeito, Weatherall (2013) menciona o doutor Jim Simons, fundador da empresa *Renaissance Technologies*, que trabalha com algoritmos de negociação

² A propriedade markoviana pode ser interpretada do seguinte modo: a probabilidade condicional de qualquer estado futuro, conhecidos os estados do presente e do passado, é independente dos estados do passado, ou seja, para prever o futuro só precisamos conhecer o estado presente.

e que, juntamente com James Ax, outro matemático, criou o fundo *Medallion*, em 1988. Desde a sua criação o fundo acumulou um retorno anual de 40%. Nas palavras do autor:

Warren Buffet isn't the best money manager in the world. Neither is George Soros or Bil Groos. The world's best money manager is a man you've probably never heard of - unless you're a physicist in which case you'd know his name immediately. Jim Simon is coinventor of a brilliant piece of mathematics called the Chern-Simon 3-form, one of the most important parts of string theory.

(...)

Over the next decade, the fund earned an unparalleled 2,478.6% return, blowing every other hedge fund in the world out of the water. To give a sense of how extraordinary this is, George Soro's Quantum Fund, the next most successful fund during this time, earned a mere 1,710.1% over the same period. (Weatherall, 2013, 0-1%)

Weatherall (2013) relata que a *Renaissance Technologies* emprega cerca de 200 pessoas. Um terço delas tem *PhDs*, principalmente em áreas como Física, matemática e Estatística.

Aparentemente, pode-se deduzir que, tendo suficiente poder computacional e pessoas com formação adequada, é possível criar algoritmos de HFT que, com base em estados anteriores de preços consigam prever as mudanças futuras de preços. Isso cria uma vantagem competitiva para operadores que usam HFT sobre os que não usam.

O quanto essa capacidade de prever mudanças de preços nas ações realmente existe e o quanto ter a posse dessa capacidade permite lucrar com isso, é incerto. Não custa lembrar que os estudos de Kearns, Kulesza e Nevmyvaka (2010) e Brogaard (2010) apontam lucros relativamente baixos para o HFT, divergindo da percepção de comportamentos abusivos e de injustiça entre os participantes nos mercados dominados pelo uso do HFT (BIS, 2012a).

7 CONCLUSÃO

Após estudar o HFT com o objetivo de entender seu impacto nos mercados de capitais e de compreender mais especificamente:

- A importância da velocidade nos mercados de capitais;
- Se o HFT representa uma nova estratégia ou apenas é uma maneira automatizada de implementar as antigas;
- Se o risco aumenta com o uso do HFT;
- Se é possível manipular o mercado com o HFT;
- Se é possível prever preços com o HFT.

Chegamos às seguintes conclusões:

7.1 Velocidade nos mercados de capitais

A velocidade é fundamental por permitir obter ganhos com as informações antes que estas se tornem amplamente disseminadas. Desde os primórdios das bolsas de valores, muito antes do surgimento dos computadores e do HFT, isso era importante e considerado uma vantagem competitiva.

Pelo que se constatou, o que o HFT fez foi diminuir a escala de tempo de obtenção dessa vantagem para a casa dos microssegundos, aproveitando a latência dos demais participantes.

Daí a importância de computadores mais potentes, executando algoritmos otimizados ou empregando técnicas de inteligência artificial quando estas forem mais rápidas, para extrair informações dos dados dos mercados durante a latência dos competidores.

Como há um custo para a obtenção dessa informação, não se pode considerá-la privilegiada. Porém, precisar qual o seu real valor é algo passível de questionamento. Isso porque os estudos de Kearns, Kulesza e Nevmyvaka (2010) e Brogaard (2010) apontam os lucros obtidos com o HFT como relativamente baixos.

Além disso, o gasto dispendido para obter computadores e algoritmos cada vez mais rápidos pode levar a uma redução do número de operadores dos mercados

de capitais, levando a uma diminuição na competição e tornando os mercados ainda menos perfeitos.

Caso esse cenário ocorra, Harris (2013) prevê que a economia como um todo será prejudicada, pois empresas precisando de capital para novos projetos terão um custo maior para atrair novos investidores. Poucos projetos serão levados adiante e, com isso, também poucos projetos serão criados.

Apesar de concordarmos com a opinião de Harris (2013), no momento ainda não temos condição de dizer se a latência mínima imposta pelos órgãos reguladores dos mercados de capitais deveria ser de 10 milissegundos como ele indica.

7.1.1 MERCADOS ADAPTADOS PARA O HFT – NECESSIDADE DE ACOMPANHAMENTO

Um importante aspecto que precisa ser acompanhado com rigor pelos órgãos reguladores de todo o mundo é o fato de as bolsas de valores obterem ganhos com o HFT e adaptarem sua infraestrutura tecnológica para esse tipo de negociação.

No Brasil, por exemplo, a BM&FBOVESPA está preparando sua infraestrutura para o HFT:

- DMA;
- Disponibilizando serviço de co-location de servidores no seu centro de processamento de dados para reduzir a latência e;
- Migrou no início de 2013 seu sistema: substituindo o Megabolsa pelo PUMA trading System com latência menor, para gerir o mercado de ações.

Existe uma real possibilidade de que elas ofereçam acesso privilegiado para tais participantes. Nesse sentido, a crítica pode não ser apenas válida para os Estados Unidos, mas para, possivelmente, todos os países:

Indeed, HFTs became the dominant form of trading in the US equities markets through the assistance of the electronic exchange themselves. In pursuit of mutual gain, the exchanges provided HFTs unfair and discriminatory advantages over public customers through a number of "innovations" released in US equities market over the last five years. The real paradigm that HFTs brought to US equities market was, therefore, the

construction of trading environments tailored for specific trading strategies. (BODEK, 7-9%, 2013)

Salienta-se que o acesso privilegiado, tradicionalmente, é concedido aos formadores de mercado devido à obrigação assumida de prover liquidez ao mercado. Ao contrário, operadores de HFT não assumem tais obrigações.

Sendo assim, caso os operadores de HFT, de alguma forma recebem benefícios ou facilidades não disponíveis aos não-HFT pelas bolsas de valores, estará criada uma situação de não equidade nos mercados.

As palavras da SEC, embora se referindo apenas ao serviço de *co-location*, são nesse sentido:

The Commission believes that the co-location offered by registered exchanges are subject to the Exchange Act. Exchanges that intend to offer co-location services must file proposed rule changes and receive approval of such rule changes in advance of offering the service to customers. The terms of co-locations services must not be unfairly discriminatory, and the fees must be equitably allocated and reasonable (SEC, 2010, p. 58)

7.2 O HFT cria novas estratégias?

Ressalte-se que, na pesquisa bibliográfica feita, não encontramos indicação de que o HFT crie novas estratégias. O que pode acontecer é que algumas das estratégias que já existiam tenham sua execução facilitada com a velocidade dos algoritmos de HFT.

Vale lembrar também que algoritmos são criados pela mente humana. São os seres humanos que inventam estratégias e implementam-nas nos algoritmos para tirar vantagem do progresso tecnológico e obter lucro no mercado de capitais. O HFT não passa de um instrumento para a implementação das mesmas.

Gomber (2011), com razão, salienta que caso as estratégias existentes ou que venham a ser criadas causem um impacto negativo no mercado, devem ser diretamente investigadas, independentemente da utilização, ou não, dos algoritmos de HFT.

Uma estratégia que deveria ser objeto de mais estudos e, talvez, de regulamentação específica é a chamada *latency arbitrage*, classificada como predatória por se utilizar da velocidade dos algoritmos de HFT para se beneficiar de

outros participantes (*front-running*). No entanto, o quanto isso é realmente nocivo é algo questionável tendo em vista os resultados dos estudos de Kearns, Kulesza e Nevmyvaka (2010) e Brogaard (2010) que apontam lucros relativamente baixos obtidos com o HFT.

7.3 Volatilidade de preços e o risco associado ao HFT

Embora a maior parte da literatura pesquisada aponte que o HFT reduz a volatilidade dos preços, Zhang (2010) nos lembra de que isso ocorre de acordo com a estratégia empregada no algoritmo:

- Ao simular o papel de um fazedor de mercado, o HFT reduz;
- Por outro lado, empregando outras estratégias, pode ocorrer uma acentuação da volatilidade.

Tais argumentos indicam a necessidade da realização de mais pesquisas sobre a questão da volatilidade, já que a opinião de Zhang (2010), contrária a da maioria dos autores, é bem fundamentada.

Em relação ao risco associado ao HFT, a nossa percepção é que de ele aumenta, pois um algoritmo é programado para seguir regras, mas não tem o instinto e a capacidade de julgamento de alterá-las quando necessário, como um operador humano poderia fazer.

Pouco se sabe do que pode resultar da interação entre sistemas de negociação automatizados já que a forma como os algoritmos são escritos e as estratégias neles implementadas são um segredo comercial das empresas proprietárias.

É possível que os órgãos reguladores precisem ter acesso a tais sistemas, de modo a estudar previamente e, posteriormente, procurar sanar os danos que o HFT possa causar aos mercados de capitais. Assim, a partir do resultado desses estudos, toda uma nova estrutura regulamentar talvez tenha que ser criada para reduzir o risco sistêmico e evitar a frequência de "quebras" nos mercados de capitais. Isso, se realmente o HFT puder ser encarado como um acelerador do tempo, como menciona BIS (2012a).

7.4 Comportamentos abusivos nos mercados com o HFT

Como vimos, comportamentos abusivos são anteriores ao *algorithmic trading*. Tanto que os órgãos reguladores criaram sanções anteriores à negociação automatizada.

Como o BIS (2012a) aponta, houve um aumento na percepção de comportamentos abusivos com o uso do HFT. A literatura se refere a muitas possíveis práticas manipuladoras, mas as evidências concretas são escassas na literatura consultada. No único caso concreto encontrado em nossa pesquisa, punido pela FINRA, foi utilizada a prática de layering com o HFT. No entanto, apesar da tecnologia, tal estratégia de manipulação é antiga.

Dessa forma, confirmar se a percepção a esse respeito está enviesada ou se Aitken (apud BIS, 2012a, pág. 28) tem razão quanto à menor habilidade dos órgãos reguladores para identificar negócios irregulares é uma interessante discussão acadêmica que precisa ser travada, até mesmo para a própria saúde dos mercados de capitais.

7.5 Previsão de preços com o HFT

Em relação à capacidade de prever mudanças de preços, os dois estudos localizados que tratam do assunto, usando dados de mercados diferentes, apontam essa possibilidade.

Entretanto, é preciso analisar um maior volume de dados e de mercados diferentes para se chegar a uma resposta sobre a capacidade de o HFT prever mudanças de preços e em que condições isso ocorre.

Caso as conclusões apontem que esta existe, possivelmente os órgãos reguladores precisarão adaptar suas estruturas legais de modo a manter a equidade entre os participantes e evitar que toda a economia seja prejudicada, tal como Harris (2013) indica.

O HFT é um tema recente em discussão em nível mundial. Por isso, ainda existe pouco consenso a esse respeito. Talvez o mais próximo disso seja o de que ele não cria novas estratégias de negociação, podendo, no entanto, facilitar em muito a execução de algumas que já existem. Sendo assim, é natural que haja tantas contradições a respeito, tantas dúvidas e, até mesmo, uma percepção negativa de seus benefícios para a economia como um todo.

Por fim, note-se que, ao longo desse estudo foram surgindo questões interessantes que poderiam ser objeto de pesquisas futuras:

- Qual a lucratividade do HFT no mercado de capitais brasileiro?
- Como o HFT consegue prever mudanças de preços?
- Qual o risco sistêmico de interação entre sistemas automatizados de negociação?
- Por que existe uma percepção negativa quanto ao aumento de comportamentos abusivos com o uso de HFT?
- Haveria benefícios se os mercados de capitais tivessem um tempo de latência estipulado?

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLSTEDT, Jonathan; VILLYSSON, Johan. **High Frequency Trading**. 2012. Disponível em http://www.math.chalmers.se/~rootzen/finrisk/Gr5_Johan_Jonathan_HFT.pdf Acesso 07/07/2013

BODEK, Haim. **The problem of HFT: collected writings on high frequency trading & stock market structure reform**. Estados Unidos, Amazon Kindle Editon, 2013

BOLSA DE VALORES, MERCADORIAS E FUTUROS S.A. **BM&FBOVESPA completa um mês de migração dos mercados de ações para a nova plataforma PUMA**. 13 mai. 2012. Disponível em <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/noticias/2013/BMFBOVESPA-completa-um-mes-de-migracao-dos-mercados-de-acoes-para-a-nova-plataforma-PUMA-2013-05-13.aspx?tipoNoticia=1&idioma=pt-br>. Acesso em 23/06/2013

_____. **CVM autoriza BM&FBOVESPA a implantar novas modalidades de DMA BOVESPA**. 09 ago. 2010. Disponível em <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/noticias/2010/CVM-autoriza-BMFBOVESPA-a-implantar-novas-modalidades-de-DMA-no-segundo-BOVESPA-2010-08-09.aspx?idioma=pt-br&tipoNoticia=1>. Acesso em 18/06/2013

_____. **Relatório anual 2012**. [S.l.: s.n., 2013?]. Disponível em http://ri.bmfbovespa.com.br/ptb/1694/RELATORIOANUAL2012PORTUGUESVFINAL_raster.pdf. Acesso em 20/06/2013

BONALDI, Eduardo Vilar. **O pequeno investidor na bolsa de valores: uma análise da ação e da cognição econômica**. São Paulo. Departamento de Sociologia da Universidade de São Paulo, ago. 2010. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8132/tde-20092010-172738/en.php> Acesso em 20/06/2013

BOSTON CONSULTING GROUP. **U.S. Securities and Exchange Commission: organizational study and reform**. 10 mar. 2011. Disponível em <http://www.sec.gov/news/studies/2011/967study.pdf> Acesso em 06/07/2013

BRASIL. **Lei 6.385, de 07 de dezembro de 1976**. Disponível <http://www.cvm.gov.br/port/atos/leis/6385.asp> Acesso em 23/06/2013

BROGAARD, Jonathan. **High frequency trading and its impact on market quality**. 2010. Disponível em <http://www.fsa.gov.uk/static/FsaWeb/Shared/Documents/pubs/consumer-research/jonathan-brogaard-hft.pdf> Acesso em 08/07/2013

BROGAARD, Jonathan; HENDERSHOTT, Terrence; RIORDAN, Ryan. **High frequency trading and price discovery**. SSRN, 22 abr. 2013. Disponível em http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1928510 Acesso em 23/06/2013

CHLISTALLA, Michael. **High-frequency trading: better than its reputation?** Deutsche Bank Research. 08 fev. 2011. Disponível em http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_EN-PROD/PROD000000000269468.PDF Acesso em 18/06/2013

COSTA, Roberto Teixeira da. **Mercado de capitais: uma trajetória de 50 anos**. Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2006.

CVITANIC, Jaks; KIRILENKO, Andrei A., **High Frequency Traders and Asset Prices**. 2010. Disponível em <http://ssrn.com/abstract=1569067> Acesso em 08/07/2013

DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS (Reino Unido). UK Government's Foresight Project. The Future of Computer Trading in Financial Markets. **Crashes and high frequency trading: an evaluation of risks posed by high-speed algorithmic trading**. 2011a. Disponível em <http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/computer-trading/11-1226-dr7-crashes-and-high-frequency-trading> Acesso em 25/06/2013

_____. UK Government's Foresight Project, The Future of Computer Trading in Financial Markets. **High Frequency trading, information and profits**. 2011b. Disponível em: <http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/computer-trading/11-1241-dr10-high-frequency-trading-information-and-profits.pdf> Acesso em 15/06/2013.

_____. UK Government's Foresight Project, The Future of Computer Trading in Financial Markets. **Regulatory scrutiny of algorithmic trading systems: an assessment of the feasibility and potential economic impact**. 2011c. Disponível em: <http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/computer-trading/12-1075-eia16-regulatory-scrutiny-of-algorithmic-trading-systems.pdf> Acesso em 08/07/2013.

_____. UK Government's Foresight Project, The Future of Computer Trading in Financial Markets. **Computer-based trading and market abuse**. 2012,a. Disponível em: <http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/computer-trading/12-1053-dr20-computer-based-trading-and-market-abuse.pdf> Acesso em 08/07/2013.

_____. UK Government's Foresight Project, The Future of Computer Trading in Financial Markets. **Technology trends in the financial markets: a 2020 vision**. 2012b. Disponível em: <http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/computer-trading/11-1222-dr3-technology-trends-in-financial-markets.pdf> Acesso em 17/05/2013

DEUTSCHE BANK. **Deutsche Bank Autobahn® Equity continues low latency product expansion in US.** 08 ago. 2011. Disponível em https://www.db.com/medien/en/content/press_releases_2011_3718.htm Acesso em 18 de junho de 2013

ERICSSON, Tomas; FRIDHOLM, Pär. **High-frequency trading - impacts of the introduction of the INET platform on NASDAQ OMX Stockholm.** Stockholm University, 2013. Disponível em http://ter.se/hft-inet-study/thesis/High_Frequency_Trading_CIVUPP_F_HT12.pdf Acessado em 18/06/2013

FINANCIAL INDUSTRY REGULATORY AUTHORITY. **FINRA Sanctions Trillium Brokerage Services, LLC, Director of Trading, Chief Compliance Officer, and Nine Traders \$2.26 Million for Illicit Equities Trading Strategy.** Disponível em <http://www.finra.org/newsroom/newsreleases/2010/p121951>. Acesso 23/06/2013

GOMBER, Peter *et al.* **High-Frequency Trading.** 2011. Disponível em <http://ssrn.com/abstract=1858626>. Acesso em 08/07/2013

HARRIS, Larry. **What to do about high-frequency trading.** Mar./ Abril 2013. Disponível em <http://www.cfapubs.org/doi/full/10.2469/faj.v69.n2.6> Acesso em 09/07/2013

INTEL. **Core i5-4670K Processor.** [S.l.: s.n., 2011?]. Disponível em http://ark.intel.com/pt-br/products/75048/Intel-Core-i5-4670K-Processor-6M-Cache-up-to-3_80-GHz Acessado em 11/06/2013

KAHIL, Gustavo. **Deutsche Bank lança robô que simula operadores da bolsa.** Exame.com, 13 jun. 2011. Disponível em <http://exame.abril.com.br/mercados/noticias/deustche-bank-lanca-robo-que-simula-operadores-da-bolsa?page=1> Acesso em 18 de junho de 2013

KEARNS, Michael; KULESZA, Alex; NEVMYVAKA, Yuriy, **Empirical Limitations on High Frequency Trading Profitability.** 2010. Disponível em <http://ssrn.com/abstract=1678758> Acesso em 08/07/2013

KRUGMAN, Paul. **Rewarding bad actors.** The New York Times. 02 ago. 2009. Disponível em http://www.nytimes.com/2009/08/03/opinion/03krugman.html?_r=0 Acesso em 18/06/2013

MORGAN, Jonathan. **Germany steps up HFT scrutiny with draft bill.** Bloomberg, 27 fev. 2013. Disponível em <http://www.bloomberg.com/news/2013-02-27/germany-steps-up-hft-scrutiny-with-draft-bill.html> Acesso em 18/06/2013.

NODA, Margareth. **Acesso eletrônico e tendências para a intermediação no mercado de valores mobiliários.** São Paulo: Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/2/2132/tde-01122010-134441/pt-br.php>
Acesso em 18/06/2013

PATTERSON, Scott. Mark **Cuban: High-frequency Traders Are the Ultimate Hackers**. The Wall Street Journal, 26 jun. 2012. Disponível em <http://blogs.wsj.com/marketbeat/2012/06/26/mark-cuban-high-frequency-traders-are-the-ultimate-hackers/> Acesso em 06/07/2013

PHILIPS, Matthew. **How Many HFT Firms Actually Use Twitter to Trade?** Bloomberg Businessweek, 24 abr. 2013. Disponível em <http://www.businessweek.com/articles/2013-04-24/how-many-hft-firms-actually-use-twitter-to-trade> Acesso em 18/06/2013

ROONEY, Ben. **Trading program sparked May 'flash crash'**. CNNMoney.com. 01 out. 2010. Disponível em http://money.cnn.com/2010/10/01/markets/SEC_CFTC_flash_crash/index.htm Acesso em 06/07/2013

SANDRINI, João; WILTGEN, Julia. **Para guru da análise técnica, investimento de longo prazo acabou**. Exame.com, 23 set. 2010. Disponível em <http://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/acoes/noticias/guru-analise-tecnica-investimento-longo-prazo-acabou-598756?page=1> Acesso 06/07/2013

SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION. **Concept Release on Equity Market Structure**. Release No. 34-61358; File No. S7-02-10.2010. Disponível em <http://www.sec.gov/rules/concept/2010/34-61358.pdf> Acesso em 25/06/2013

SOBRAL, Lilian. **Bolsa de Oslo aplicará multa para alta frequência 'exagerada'**. Exame.com, 24 mai. 2012. Disponível em <http://exame.abril.com.br/mercados/noticias/bolsa-de-oslo-aplicara-multa-para-alta-frequencia-exagerada> Acesso em 21/06/2013

UEMATSU, Akira Arice de Moura Galvão. **Algoritmos de negociação com dados de alta frequência**. 2012. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45133/tde-28042012-114138/>. Acesso em 24/06/2013

WEATHERALL, James Owen. **The Physics of Wall Street: a brief history of predicting the unpredictable**. Estados Unidos, Amazon Kindle Editon, 2013

YAZBEK, Priscila. **Um Investimentos passa a oferecer robôs de alta frequência**. Exame.com, 29 nov. 2012. Disponível em <http://exame.abril.com.br/mercados/noticias/um-investimentos-passa-a-oferecer-robos-de-alta-frequencia> Acesso 06/07/2013

ZHANG, Frank. **High-Frequency Trading, Stock Volatility, and Price Discovery.** Dezembro de 2010. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1691679> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1691679>. Acesso em 26/06/2013