



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Gabriel Marinello Moura Leite, Rogério Teixeira
Buzato

High-Frequency Trading: Uma revisão bibliográfica

Alfenas, 20 de dezembro de 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

High-Frequency Trading: Uma revisão bibliográfica

Gabriel Marinello Moura Leite, Rogério Teixeira
Buzato

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Federal de Alfenas como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador(a): **Prof. Dr. Humberto César Brandão de Oliveira**

Alfenas, 20 de dezembro de 2019.

***Gabriel Marinello Moura Leite, Rogério Teixeira
Buzato***

High-Frequency Trading: Uma revisão bibliográfica

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a monografia apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Alfenas.

**Prof. Fellipe Guilherme Rey de Souza
Universidade Federal de Alfenas**

**Prof. Dr. Paulo Alexandre Bressan
Universidade Federal de Alfenas**

Prof. Dr. Humberto César Brandão de Oliveira (*Orientador*)

Alfenas, 20 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTO

O agradecimento principal é direcionado ao professor e orientador Humberto Brandão, que nos mostrou como funciona o mercado de trabalho e ajudou no crescimento do nosso conhecimento sobre o assunto.

Os Agradecimentos especiais são direcionados a todos os professores e amigos que participaram de nossas vidas acadêmicas, sendo parte fundamental de nossa formação, tanto acadêmica quanto pessoal.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo agrupar um conjunto de características e informações sobre High-frequency-trading. É explicado como é o funcionamento da bolsa de valores para introdução do leitor ao tema, e, com isso, é discutido sobre HFT, apresentando tópicos como seu surgimento, suas controvérsias e principais estratégias utilizadas. Através deste, é possível ter um entendimento inicial sobre HFT e mercado financeiro podendo assim ser utilizado como base para a elaboração de trabalhos futuros e aprendizados iniciais.

Palavras-Chave: HFT, High-frequency trading, bolsa de valores, trading..

ABSTRACT

This paper aims to group a set of characteristics and information about High-frequency-trading. It explains how the stock exchange works to introduce the reader to the subject, and with it, it is discussed about HFT, presenting topics such as its emergence, its controversies and main strategies used. Through this, it is possible to have an initial understanding of HFT and financial market and can thus be used as a basis for the preparation of future work and initial learning.

Keywords: HFT, High-frequency trading, stock exchange, trading..

LISTA DE ABREVIACÕES

AlgoTrading	Algorithm Trade
AT	Algorithmic Trading
CDB	Certificado de Deposito Bancário
CDI	Certificado de Deposito Bancário
CFTC	Commodity Futures Trading Commission
CHX	Chicago Stock Exchange
CMN	Conselho Monetário Nacional
CNPC	Conselho Nacional de Previdência Complementar
CNSP	Conselho Nacional de Seguros Privados
co-lo	Co-location
HFT	High-Frequency Trade
IA	Inteligencia Artificial
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
LC	Letra de Cambio
LCA	Letra de Crédito do Agronegócio
LCI	Letra de Crédito Imobiliário
LTP	Last trade price
RTT	Round-trip time
SEC	Securities and Exchange Commission
TCP	Transmission Control Protocol

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Justificativa e motivação	1
1.2	Problematização	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Gerais	2
1.3.2	Específicos	2
1.4	Organização da monografia	2
2	Conceitos Básicos	3
2.1	O que é o Mercado Financeiro	3
2.1.1	Como funciona o mercado	4
2.2	Tipos de Investimento	6
2.2.1	Investimentos de Renda Fixa	6
2.2.2	Investimentos de Renda Variável	6
2.3	<i>DayTrading</i>	7
2.3.1	Análise Técnica	8
2.3.2	AlgoTrading	9
2.4	Co-location e latência	11
3	High Frequency Trading	13
3.1	O que define um HFT segundo a SEC	13
3.2	O que define um HFT segundo a MiFID II	15
3.3	O que define um HFT segundo a CFTC	15
3.4	Discussão sobre as definições de HFTs	16
3.5	Estrutura geral para construir, validar e usar um HFT	16
3.6	Vantagens e desvantagens dos HFTs	19
3.6.1	Os argumentos contra as HFTs	20
3.6.2	Argumentos a favor dos HFTs	21
3.6.3	Redução do <i>bid-ask spread</i>	22
3.7	Speed bumps: Tentando contornar distorções	23

4	Estratégias utilizadas por HFTs	25
4.1	Estratégias mal vistas	25
4.1.1	Back Runners	25
4.1.2	Spoofy	26
4.1.3	Wash trading	27
4.1.4	Quote Stuffing	27
4.1.5	Iceberg order	28
4.2	Market making	28
4.3	Arbitragem	30
4.3.1	Riskless Arbitrage	30
4.3.2	Statistical arbitrage	31
4.3.3	Takeover and Merger Arbitrage	32
4.3.4	Pair trading	33
4.3.5	Term structure arbitrage	33
4.3.6	Gamma trading	34
4.3.7	Volatility surface arbitrage	35
4.3.8	Capital structure arbitrage	35
4.3.9	Convertible Arbitrage	37
5	Considerações finais	39
	Referências Bibliográficas	40

1

Introdução

1.1 Justificativa e motivação

As informações sobre High-frequency trading e seu surgimento, funcionamento e controvérsias se encontram, na maioria das vezes, dispersas por diversos meios de informação, dificultando um aprendizado conciso, além de dificultar e muito a referência em artigos científicos. Isso cria uma granularidade muito grande de informação e uma dispersão de resultados, dificultando a pesquisa nesta área.

1.2 Problematização

A dificuldade de buscar por referências e organizar ideias para formação de novos trabalhos e introdução na área de pesquisa é um dos principais problemas encontrados. Existem inúmeros meios que fornecem essa informação mas nem sempre com a credibilidade necessária ou enfoque na área. Isso força a busca por informações em meios acadêmicos onde encontramos outra barreira: a extensa variedade de modalidades de pesquisa e especificidade dos assuntos trabalhados nesse meio. É de uma relevância significativa compilar essas informações em apenas um trabalho que baseia o desenvolvimento e introdução no assunto de High-Frequency Trading para que haja essa facilidade na compreensão do assunto, além de uma facilidade maior para referência do tema tratado.

1.3 Objetivos

1.3.1 Gerais

O objetivo principal desse trabalho é realizar a agregação de informações que possam ser utilizadas como base para estudos e trabalhos futuros na área de High-Frequency trading.

1.3.2 Específicos

Buscar na literatura sobre Algo trading, suas bases e funcionamento. Filtrar as informações que diz respeito ao assunto do trabalho, High-Frequency Trading, em fontes diversas como artigos científicos de relevância e fontes de informação renomadas no assunto. Através dessa pesquisa, agregar os conhecimentos obtidos e trabalhar alguns tópicos mais específicos podendo desenvolver o conhecimento. Padronizar as informações encontradas para evitar a divergência das mesmas em diversas fontes, com nomes diferente para a mesma informação ou técnica, ou até mesmo buscar um meio mais aceito para uma determinada técnica ou definição.

1.4 Organização da monografia

Foi feita uma introdução ao assunto de mercado financeiro para que leigos possam ter uma base sobre o assunto e poderem entrar no assunto de High-frequency trading facilmente. Com isso, foram colocados os capítulos em ordem de explicações, com um capítulo completando o outro em questão de assuntos, como por exemplo, explicar o que é um HFT, indicar a sua história, argumentos contra ou a favor, todo assunto sendo seguido por uma explicação que já foi dada em um capítulo anterior.

2

Conceitos Básicos

A utilização de algoritmos para operação em mercados financeiros não é um conceito novo. Contudo, há um recente crescimento do interesse de pessoas e empresas por operações em alta frequência, do inglês *High-Frequency Trading* (ou simplesmente HFT). Um conjunto de características define se um robô opera ou não em alta frequência, e isso será discutido e definido na Seção 3. Discutiremos, a princípio, termos e conceitos básicos para o entendimento do trabalho como um todo.

2.1 O que é o Mercado Financeiro

Mercado financeiro (1) consiste de um ambiente compartilhado de compra e venda de valores, sejam eles: mobiliários (ações, opções, títulos), câmbio (moedas estrangeiras) ou mercadorias (ouro, produtos agrícolas). Nessas negociações, o mercado serve como uma ponte que vai ligar os diferentes extremos desse sistema.

No mercado, temos presente dois tipos de agentes. Em um extremo está o investidor e no outro extremo temos os chamados Tomadores de Recursos:

- **Investidor:** Pessoa com acúmulo de capital e que busca algum investimento para que possa fazer este capital girar e lucrar com isso. Os caminhos para que este capital seja investido podem variar, porém partem do mesmo princípio: a verba é aplicada e oferece um rendimento ou desvalorização, dependendo do tipo de investimento que está sendo feito e a variação do mercado.
- **Tomadores de recursos:** Empresas, instituições, governos ou até mesmo

pessoas físicas que tem como objetivo captar recursos para fins diversos, como por exemplo: pagar dívidas, comprar uma parte de uma empresa ou simplesmente comprar uma máquina nova para seu empreendimento. O que pode ser visto então é uma troca entre o agente que possui o capital e o agente que precisa do recurso financeiro.

Tendo isso em vista, são definidos dois tipos de investimentos possíveis: renda fixa e renda variável. Nos de renda fixa, o investidor consegue projetar o rendimento no momento em que o dinheiro é aplicado, sendo o valor de juros fixado na hora do contrato. Os investimentos de renda variável não possuem uma garantia de retorno, tudo dependerá da valorização ou desvalorização do ativo que está sendo investido e da estratégia do investidor para cada tipo de cenário e operação. Os tipos de investimento são mais aprofundados na seção 2.2.

2.1.1 Como funciona o mercado

O mercado financeiro funciona como um intermediador, aproximando investidores e tomadores de recursos. Eles não necessitam de estabelecer nenhum tipo de negociação entre si, pois essa ponte é feita através de investimentos presentes na própria instituição financeira, o que facilita as relações e beneficia ambos os lados. A exemplo dessa relação, um investidor pode aplicar seu dinheiro em um CDB (Certificado de Depósito Bancário), onde seu dinheiro irá gerar capital excedente para a instituição que recebeu o capital. Com isso, a empresa pode gerar empréstimos a terceiros necessitados e, assim, gerar o lucro necessário para pagar o investidor e ainda lucrar com isso.

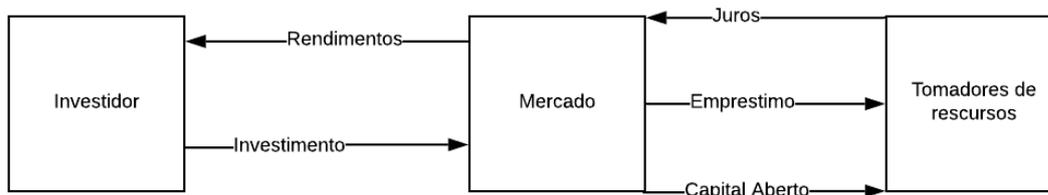


Figura 2.1: Diagrama de como funciona o mercado

Quando as negociações eletrônicas ainda não estavam disponíveis para grande parte do público, investidores de varejo geralmente não conseguiam obter baixo atraso com a bolsa de valores como podem hoje, pois muitas vezes tinham que ter contato verbal com corretores. Com eles, era necessário informar o investimento que gostariam de fazer, que entrava em uma fila de espera, que aguardava o acúmulo de várias ordens para que pudessem passar todos de uma vez para o mercado, e só depois os pedidos eram abertos. Era geralmente um processo lento e o preço frequentemente já não era o mesmo quando o cliente havia feito o pedido. No geral, a tecnologia era baixa e os clientes não tinham opção a não ser aguardar.

Com o tempo, houve um considerável avanço tecnológico e, com isso, o volume de dados do mercado foi crescendo e ficando mais acessível ao público geral, não sendo necessária a comunicação direta com um corretor intermediário para o acesso às ordens e aos dados do mercado. O acesso à informação dos livros de ofertas se tornou de simples acesso, sendo ela *tick-by-tick*, onde um tick é a mínima variação de preço de cada ativo, ou até mesmo *order-by-order*, onde ordem é uma instrução para compra ou venda de um ativo. Além do acesso ao estado dos mercados (preços de compra e venda, liquidez, etc.), plataformas que disponibilizam a possibilidade de enviar ofertas, modificações e cancelamentos são cada vez mais comuns no mercado. Algumas plataformas inclusive provêm tanto o acesso à informação, como a possibilidade do roteamento de ordens.

Existem alguns órgãos importantes para normatizar o mercado e todo tipo de transação, como: Conselho Monetário Nacional (CMN), o Conselho Nacional de Seguros Privados (CNSP) e o Conselho Nacional de Previdência Complementar (CNPC). Eles dão as diretrizes operacionais, das quais as instituições financeiras se baseiam, mantendo as relações saudáveis e estáveis de maneira a não desbalancear o mercado gerando risco a economia.

Contudo, quando falamos em mercado financeiro, não estamos apenas falando de renda fixa ou ações de empresas. Existem muitos outros tipos de investimentos que podem ser estudados. Abaixo estão listadas algumas opções de mercado para se investir:

Mercado de Crédito	Trata dos empréstimos bancários. É quando uma pessoa solicita um financiamento ou usar o cheque especial.
Mercado Aberto	Cuida das empresas com capital aberto, ou seja, que negocia suas ações através da bolsa de valores, que regula a oferta e a demanda pelos papéis das companhias.
Mercado de Câmbio	É a plataforma de negociação de moedas estrangeiras da relação justa entre as moedas dos países.

2.2 Tipos de Investimento

2.2.1 Investimentos de Renda Fixa

Renda fixa é o tipo de investimento que oferece uma base de projeção ou o cálculo do retorno exato antes da aplicação, gerando segurança para o investidor. Por esse motivo, ele acaba sendo o mais utilizado pelos investidores com menos conhecimento de mercado financeiro, apesar de ter um retorno menor.

Títulos assim podem ter rendimento pré-fixado, com um juro anual definido, pós-fixado, atrelado a um indicador como o CDI (Certificado de Depósito Interbancário), ou híbrido, com um juro fixo mais a variação do IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo, considerado a inflação oficial do país).

São exemplos de renda fixa boa parte das aplicações que são conhecidas pelo público, como a poupança, o CDB (Certificado de Depósito Bancário), a LCI/LCA (Letra de Crédito Imobiliário e Letra de Crédito do Agronegócio), Tesouro Direto, debêntures, LC (Letra de câmbio), entre outros. Em resumo é um investimento muito mais seguro que os de renda variável.

2.2.2 Investimentos de Renda Variável

Este é o tipo de investimento tratado neste trabalho. A renda variável ainda é pouco explorada pelo investidor pessoa física no Brasil como mostra o relatório da AMBIMA (2). Isso deriva de que um investidor, para poder investir em renda

variável, necessita ter algum conhecimento de mercado e seu funcionamento para conseguir um lucro palpável. Isso afasta muito o investidor brasileiro por ser um país que não possui uma política forte de educação financeira.

Exemplos de renda variável são ações, opções e derivativos na bolsa de valores, fundos de investimento de ações e multimercados, entre outros. Na comparação com a renda fixa, a variável acarreta maior risco de prejuízo, embora ofereça potencial de retornos mais elevados. Dentro da renda variável podemos elencar dois tipos de investimento. O investidor pode investir em um carteira de ações ou portfólio e então escolher os tipos de ativos presentes buscando os que melhor vão valorizar para poder obter lucro a cada troca de valores, ou pode operar ações buscando lucro na compra e venda em momentos oportunos, se beneficiando da volatilidade da bolsa de valores, que é chamado de *trade*.

2.3 *DayTrading*

Após esta introdução sobre mercado podemos entrar no que diz respeito a operação que tratamos neste trabalho. O *Day trade* é uma opção para aqueles que buscam lucro na renda variável com pouco capital inicial e sem deixar o investimento parado em um só ativo por um período longo, como meses ou até mesmo anos. Segundo a BTG Pactual digital (3), *DayTrading* é uma ou várias operações de compra e venda de ações/ativos de uma ou várias empresas realizadas em um único dia na bolsa de valores. O objetivo do investidor é lucras com a oscilação de preço do ativo financeiro entre a abertura e o fechamento do mercado.

Uma análise de mercado é feita para auxiliar esse investidores, que é responsável por observar tendências e apresentar o desenvolvimento histórico de um ativo, e com isso, indicar se este ativo pode ter algum potencial de investimento. Para isso é feito o uso de diversas técnicas que visam "prever" ou antecipar os movimentos do mercado. Assim são construídos os indicadores baseados em análise técnica de mercado, explicada na seção 2.3.1. Contudo, como a volatilidade (ou variação de preços) na bolsa de valores é muito grande, cenários imprevisíveis podem alterar os preços dos ativos a qualquer momento. Um exemplo, um fato político acontecendo no país da empresa, a compra da mesma por uma outra em-

presa ou aquisição de outra empresa. E estes investidores estão sujeitos a essas imprevisibilidades aumentando o fator risco do investimento.

2.3.1 Análise Técnica

A análise técnica do mercado pode ser feita de várias formas, sendo definida por estratégias de mercado. Nenhuma estratégia supera outra, pois é muito difícil comprovar matematicamente algo aplicado no mercado, que se trata de uma base de dados extremamente aleatória.



Figura 2.2: Exemplo de um gráfico de Análise Técnica para o Bitcoin(4) com dois indicadores.

Esta análise é formada de uma série de métodos que tentam mostrar a um investidor qual seria um bom momento para comprar ou vender uma determinada ação. Esses 'sinais' de compra e venda são gerados olhando o passado e especulando o futuro para tentar antecipar algum nuance que irá ocorrer nesse cenário. Três premissas norteiam a ideia por trás da análise técnica. São elas:

- Expectativa de mercado: reflete em valor das ações.
- Existem tendências no movimento dos ativos;
- Compreender o futuro é observar e entender o passado.



Figura 2.3: Ilustração de indicadores técnicos em um gráfico EURO/Dolar Americano (5)

Para a construção analítica, são monitorados e identificados padrões de comportamento em atividades passadas, além de dados históricos relacionados a preços e volume de ações negociadas. Em conjunto, o analista deve sempre se manter atento a notícias e possíveis acontecimentos que podem afetar diretamente no valor de mercado. Operar em um conjunto de conhecimentos, em tempo real, em ambiente volátil, com alto risco de perda e sem a análise técnica, reduzem as chances de manter resultados sólidos e positivos.

2.3.2 AlgoTrading

A revolução tecnológica no *day trade* proporcionou o surgimento de um novo tipo de investimento, os programas de *trade* automáticos ou *Algotrading*. Eles são algoritmos que se baseiam nas análises técnicas e em IA (Inteligência Artificial) para poder operar compras e vendas na bolsa. Isso acontece sob a mediação de uma corretora que permite a sua implementação e disponibiliza a conexão com a fonte dos dados.

Estes programas, implementados diretamente nos protocolos de comunicação

das bolsas ou usando essas plataformas facilitadoras, podem obter informações das mais atômicas possíveis como, por exemplo, todas as ordens enviadas ao mercado, todos os cancelamentos e modificações solicitados, todos os negócios fechados, dados do livro de ofertas (*tick-by-tick* ou *order-by-order*). Isso também acontece com notícias em tempo real, inclusive pré-processadas por empresas especializadas em Inteligência Artificial. Este nível de informação, aliada à velocidade que a mesma hoje pode ser recebida, era impossível de ser capturada poucos anos atrás.

Em sumo, é feita a recepção dos dados pela plataforma e lido pelo algoritmo que através de sua lógica é capaz de dar sinais de venda e compra. Os pontos positivos dessa técnica são:

- O tempo de resposta: O algoritmo é capaz de captar e analisar as informações da bolsa próximo do tempo real e dar um sinal de compra e venda. Tudo isso vai apenas depender de uma boa conexão com a bolsa e internet. Esse é um tópico importante no que se refere a alta frequência e será aprofundado na seção 2.4
- A ausência da emoção humana, que é um fator de risco quando tratamos de mercado financeiro. Movimentos que representam risco a um investidor posicionado tendem a fazer com que ele tome decisões precipitadas que vão contra a sua estratégia definida.
- O tempo ganho, o algoritmo não tem limitação de tempo de trabalho ou cansaço. Ele pode operar a todo momento enquanto a bolsa estiver aberta, coisa que seria impossível para um humano.

O assunto deste trabalho, HFT (*High-frequency trade*), se trata de uma técnica de *Algotrading* que funciona dentro do âmbito do *Day trade* e que exploraremos neste trabalho. Esta evolução nos mecanismos de investimento nos leva a uma questão natural: quais são as vantagens e desvantagens de compartilhar um ambiente de negociação com algoritmos de tamanha capacidade de reação ao que acontece nos mercados financeiros? Esta pergunta pode ser também estendida para: qual é a vantagem em ser um *player* que atua em alta frequência? Argumentos em cima destas perguntas são apresentados na Seção 3.6.

2.4 Co-location e latência

A localização e a estrutura dos computadores que executam estratégias de investimento afetam diretamente a velocidade no recebimento do estado do mercado, no envio de ordens e acesso nas confirmações, pois a distância entre os computadores em que se encontram os algoritmos e as bolsas de valores, assim como outros fatores, cria um atraso na comunicação, o que comumente é chamado de latência, *ping*, RTT (*round-trip time*), etc. (embora estes conceitos possuem algumas diferenças técnicas, todos são medidas de atraso na comunicação em sistemas distribuídos).

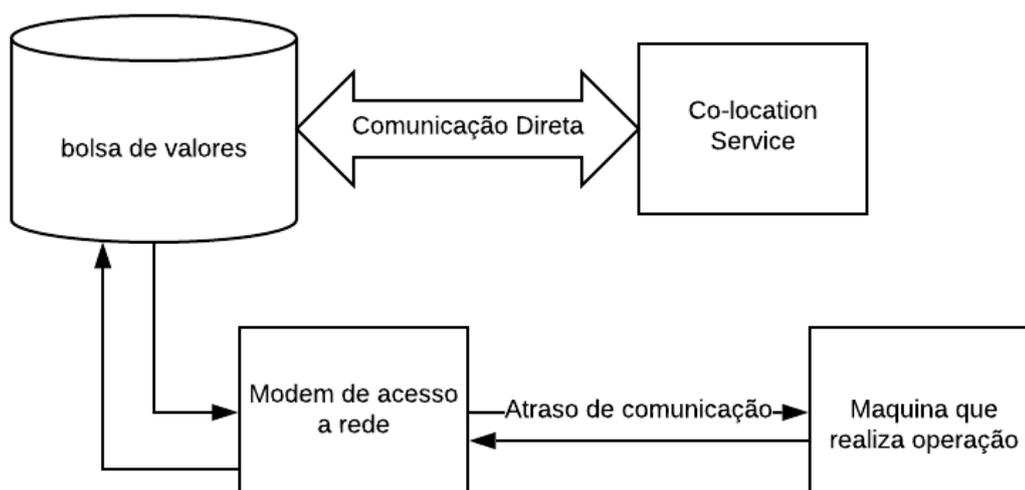


Figura 2.4: Diagrama co-location x comunicação por rede

Algoritmos que se encontram em estruturas especiais mais próximas aos mercados financeiros podem tentar explorar da vantagem de receber informações de maneira mais rápida, se comparados aos algoritmos ou investidores que não têm acesso a essas estruturas especiais, chamadas de "*co-location*", ou apenas "co-lo" (abreviação comumente usada fora do Brasil).

Estruturas de co-lo oferecem baixa latência, provendo na maioria dos mercados financeiros acesso com tecnologia de ponta, bem como uma pequena distância física em relação ao mercado se comparado aos outros investidores. Outra

vantagem especial de possuir um algoritmo negociador (*algotrader*) posicionado dentro da estrutura de co-lo, é a possibilidade de não passar pela análise de risco de corretoras quando uma ordem é enviada ao mercado. Estes detalhes reduzem consideravelmente o RTT (tempo de ida e volta, em português) das mensagens enviadas. Tal redução pode promover acesso quase imediato ao estado do mercado e na reação que o algoritmo terá, a depender de sua lógica de investimento.

A seriedade dentro dos espaços de co-lo é tamanha que, muitas vezes, todos os computadores que lá estão possuem o mesmo comprimento de fibra ótica para o sistema de negociação central (mesmo que isso cause um aumento da fibra para a maioria deles). Isso evita que aqueles computadores mais próximos fisicamente da central recebam informação com menor latência, se comparado aos outros que compartilham da mesma estrutura, promovendo igualdade de infraestrutura para os investidores que alugam espaços em *co-location*.

No passado, os criadores de *algotraders* lidavam com atrasos na casa de segundos. Na última década algumas estruturas conseguiram promover, até mesmo para o varejo, atraso na casa de milissegundos, como as plataformas SmarttBot e MetaTrader, por exemplo. Já os *High-Frequency Traders* (*traders* que operam com estratégias e infra-estruturas de HFT) conseguem, com facilidade, trabalhar com atrasos na fração de microssegundos.

Em alguns mercados no exterior, algoritmos em *co-location* podem optar em receber a informação fora do protocolo considerado padrão na comunicação em mercados financeiros (Protocolo Fix). O protocolo FIX foi sendo adotado nas últimas décadas pelos principais mercados do mundo, mas o mesmo pode causar um passo adicional na comunicação do mercado com os *algotraders* devido à tradução da informação nativa para FIX. Embora utilizado mundialmente pela maioria dos *algotraders*, alguns optam por se comunicar com o mercado em um protocolo nativo (ou linguagem) antes que a informação seja convertida ao protocolo FIX.

3

High Frequency Trading

Embora expressões usadas já há alguns anos, *Algorithmic Trading* (AT) e *High-Frequency Trading* são práticas de negociação que ainda estão em constante evolução. Ainda há certa diferença de definição por diferentes órgãos quando o assunto é classificar se um algoritmo é de alta frequência ou não. Aqui são apresentadas algumas definições feitas por diferentes órgãos.

3.1 O que define um HFT segundo a SEC

De acordo com o texto Chordia, Tarun Goyal et al. (2013) (6), a instituição americana denominada SEC (Securities and Exchange Commission), responsável por proteger investidores, manter mercados justos, ordenados e eficientes e facilitar a formação de capital, *High-frequency trading* é geralmente referido como algoritmos negociadores profissionais que atuam em uma capacidade proprietária e que geram um grande número de negociações diárias, e também com outras características comuns como:

- O uso de alta velocidade e programas de computador sofisticados para processar grandes volumes de dados e executar ordens. Isso geralmente inclui o uso de alto poder de processamento, o que envolve computadores modernos, baixa complexidade de estruturas de dados utilizadas em seus programas, bem como a utilização de linguagens de programação de baixo nível. Alguns *High-Frequency Traders* fazem uso também de *hardware* especialmente construído para ser mais eficiente do que um computador de uso geral.
- Uso de serviços de *co-location* e *data feeds* oferecidos pelo próprio mercado para minimizar latência. Em plataformas de varejo, o recebimento dos da-

dos muitas vezes passa por um longo caminho até chegar no investidor ou no algoritmo negociador. Isso é um dos pontos utilizados pela SEC para distinguir HFTs de ATs comuns. No Brasil, assim como nos principais mercados mundiais, é possível obter dados estando em *co-location* no protocolo FIX (especificamente FAST-FIX) e utilizando o protocolo da área de redes de computadores denominado UDP (User Datagram Protocol). Diferentemente do protocolo bem conhecido TCP (Transmission Control Protocol), UDP não trata erros na comunicação, ficando a cargo do algoritmo este tratamento, e ganhando a vantagem temporal de não utilizar a rede para verificação da entrega da informação. Como os HFTs geralmente ficam posicionados dentro das estruturas providas pelos próprios mercados, a perda de dados na rede é muito mais baixa se comparada à Internet geral.

- Períodos muito pequenos para estabelecer e liquidar posições. A maioria dos algoritmos de alta frequência apostam em deslocamentos de preço muito rápidos ou em uma alta volatilidade também de forma rápida. Isso depende da estratégia que o mesmo utiliza, mas basicamente o raciocínio é que tempo de posição significa risco. Neste contexto, os mesmos tentam desfazer de posições em tempos muito mais curtos que os algoritmos comuns o fazem.
- A submissão de várias ordens que são canceladas logo após sua submissão. Este ponto é importante e causa muita polêmica ao redor do mundo. Da mesma forma em que as apostas sobre o deslocamento do preço possuem uma janela temporal muito curta de validade perante os olhos de um HFT, necessitando assim cancelar ordens caso estas não sejam executadas, ordens limite sendo canceladas muito rapidamente podem causar falsa impressão de liquidez no mercado. Nos últimos anos alguns mercados vêm discutindo a temática e estabelecendo regras como, por exemplo: a cada x ordens enviadas, pelo menos y devem ser executadas (sendo $y < x$); Algumas empresas ou pessoas detentoras de HFTs também são por vezes proibidas de atuar, ou multadas, ao enviarem grandes volumes de ordens com a intenção clara de cancelá-las logo na sequência. Muitos algoritmos do varejo, HFTs ou até mesmo investidores comuns fazem a leitura da liquidez exposta no livro de ofertas. Esta prática é denominada "*Spoofy*" e é apresentada na Seção 4.1.2

- Terminar o dia sem posições abertas se possível. Como um dos principais lemas da maioria dos HFTs é que tempo de exposição representa risco, em mercados que possuem abertura e fechamento, os mesmos não costumam terminar um pregão com posições abertas, seja ela long (comprada) ou short (vendida).

3.2 O que define um HFT segundo a MiFID II

Descrito pela versão renovada da *Markets in Financial Instruments Directive* (MiFID ii) que regula os mercados financeiros na União Europeia e a transparência no mercado (ESMA, 2019) (7), HFT é uma técnica algorítmica caracterizada por:

- Infraestrutura focada em minimizar latências de rede ou de outros tipos, incluindo pelo menos um dos seguintes recursos para entrada algorítmica de pedidos: *co-location*, alojamento de proximidade ou acesso eletrônico direto de alta velocidade;
- Determinação do sistema na iniciação, geração, roteamento ou execução de ordens sem intervenção humana para negociação;
- Grande quantidade de ordens em um dia, que constituem ofertas, modificações ou cancelamentos.

3.3 O que define um HFT segundo a CFTC

Commodity Futures Trading Commission (CFTC) descreveu HFTs (CFTC, 2019) (8) no contexto de sistemas de negociação automatizados como sendo:

- Algoritmos de tomada de decisão sem intervenção humana;
- Tecnologia de baixa latência, sendo ela em *co-location* ou não;
- Alta taxa de mensagens (ofertas, modificações e cancelamentos).

3.4 Discussão sobre as definições de HFTs

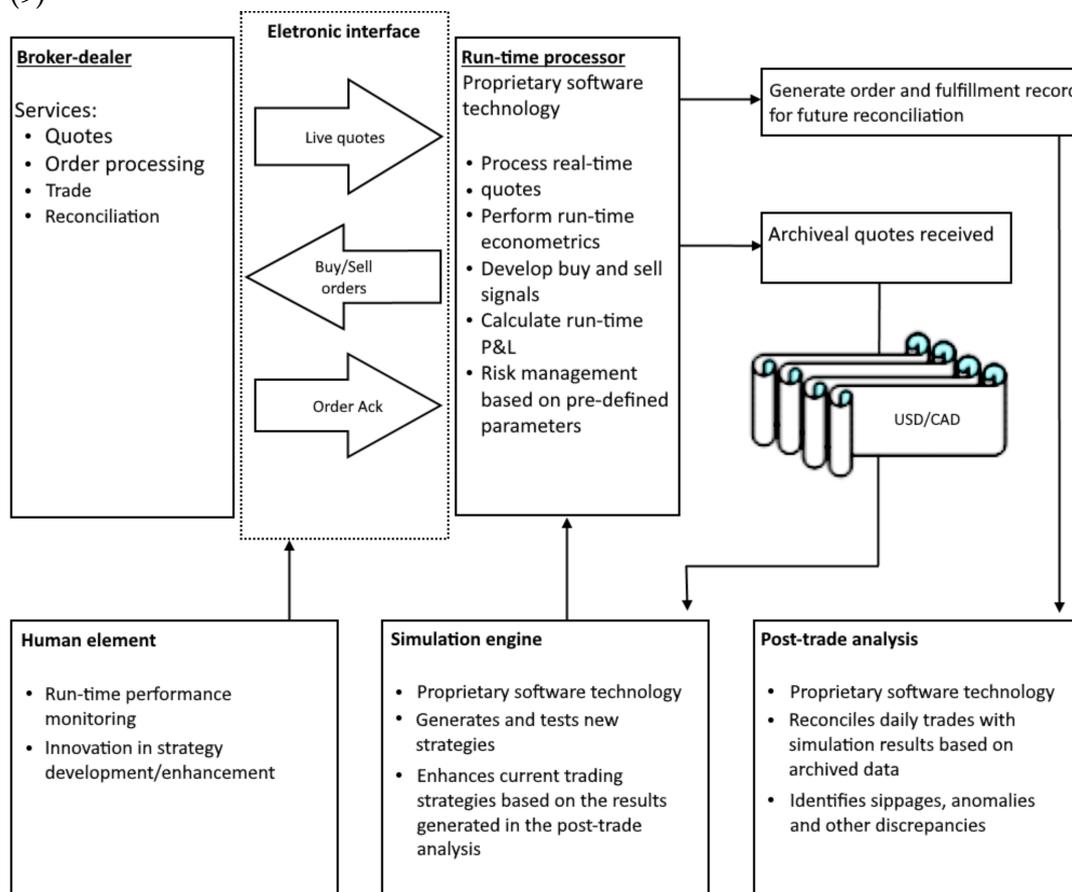
Muitas descrições sobre o que é e o que não é HFT podem ser encontradas, tanto por órgãos responsáveis por regular mercados, bem como por pesquisadores, profissionais ou entusiastas da área. A falta de uma descrição precisa e definitiva contribui para alta variação nas estimativas de atividades de HFTs em diferentes mercados. Entretanto, a maioria daqueles que definem HFT concordam principalmente sobre a baixa latência para capturar o estado do mercado (mais rápido do que a maioria dos *players* algorítmicos) bem como na alta velocidade para rotear ordens.

3.5 Estrutura geral para construir, validar e usar um HFT

A seguir, os pontos principais descritos por Irene Aldridge (9) são discutidos:

- Simulação (*simulation engine*): módulo responsável por realizar testes sem que haja a necessidade de compras e vendas reais em mercados financeiros. Isso evita que dinheiro seja perdido com estratégias ainda em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Como HFT possui muitas particularidades, a simulação para esta categoria de investimento necessita considerar inúmeros detalhes do funcionamento do mercado financeiro. Os investidores profissionais em HFT possuem softwares proprietários de simulação extremamente detalhistas, considerando avaliação de impactos com diferentes latências, visão sobre todo o livro de ofertas, etc. Muitas das vezes estes softwares são desenvolvidos com uma metodologia Simulação Evento-Discreta.
- Comunicação Eletrônica (*eletronic interface*): módulo responsável por enviar sinais de ofertas (compras/vendas), modificações, cancelamentos e receber confirmações do que aconteceu com seus sinais enviados, além das cotações em tempo real, livro de ofertas, ofertas de terceiros, dentre outros. Esta comunicação comumente é feita pelo Protocolo Fix (*Fix protocol*). A B3 (bolsa de valores oficial do Brasil) já há alguns anos disponibiliza uma variação

Figura 3.1: Representação geral para criação, avaliação e utilização de um HFT (9)



do protocolo, feita para ser transmitida de forma mais eficiente, chamada FAST-FIX. A conversão é de simples implementação. Contudo, a maioria dos sistemas HFT do exterior, quando adaptados para a B3, precisam implementar esta tradução. Há um ganho temporal na troca de mensagem na rede, e uma perda na conversão dos dados. Entretanto, a rede é um gargalo mais preocupante se comparado ao poder computacional dos hardwares de hoje. Há também corretoras no Brasil que disponibilizam interfaces de rede em conexão *socket* e homologam sistemas não HFT que se comunicam com os *brokers*, passando suas ofertas por seus respectivos módulos de risco, antes das mensagens serem enviadas para o mercado. Devido à necessidade de baixíssima latência, sistemas HFT se comunicam diretamente com o mercado, tendo aqui no país limites controlados pela B3, mas previamente limites estes configurados pelas corretoras a depender da margem

que cada cliente possui em garantia. Ou seja, em tempo real, não há latência em função da corretora para o envio e recebimento de mensagens;

- Análise pós-negociação (*post-trade analysis*): Após o algoritmo negociar durante um período de tempo, é de fundamental importância analisar seu desempenho em um contexto multi-objetivo (maximizar o retorno e minimizar o risco). Várias metodologias sobre este assunto são propostas na literatura de economia;
- Elemento humano (*human element*): citado explicitamente por Aldridge (2013), embora este não seja um módulo relacionado com software, boas empresas que criam e utilizam sistemas HFT precisam de uma equipe qualificada na área para o bom funcionamento dos sistemas. No exterior, é muito comum encontrar vagas de emprego nesta área com o doutoramento como pré-requisito para trabalhar neste ambiente de criação. Basicamente, as *propshops* (empresas de *trading* proprietário), montam seus times interdisciplinares de mestres e doutores e estes trabalham em equipes de Pesquisa e Desenvolvimento. Há basicamente uma grande demanda atualmente fora do Brasil para a contratação de especialistas que melhoram processos de simulação, que estatisticamente aplicam novos métodos para gestão de risco, que criam novos hardwares para redução de latência, etc. No Brasil, algumas empresas já começaram a criar times que apresentam tal perfil;
- Corretora (*broker-dealer*): Aldridge (2013) mostra na Figura 3.1 o módulo da corretora como um prestador de serviços. No Brasil, alguns destes serviços são realizados por outras empresas como, por exemplo, *vendors*, que são as empresas autorizadas a entregar dados oriundos da B3. Estas empresas não trocam mensagens como ofertas, modificações e cancelamentos. Mas elas entregam os dados para os algoritmos, sendo eles HFT ou não. Muitas vezes os *vendors* simplificam as mensagens para que equipes com poucas pessoas consigam receber dados em seus algoritmos. Obviamente, este elemento intermediário incrementa a latência, que é crítica em sistemas HFT. Na B3, também existe a lógica de acesso direto ao mercado (*direct market access*), dividido em 4 categorias (DMA 1, 2, 3 e 4). Dependendo da categoria escolhida, o roteamento de ordens vai diretamente para a B3, sem passar

pelo filtro de risco das corretoras. Sistemas HFT, de acordo com as definições citadas na Seção 1.2, se posicionam em DMA 4, aqui no Brasil chamado de *co-location*. Ao redor do mundo estas estruturas variam e cada proprietário de algoritmo precisa fazer uma análise de custo benefício, a depender da latência que seu algoritmo necessita;

- Estratégia (parte do *Run-time processor*, especificamente no ponto *Develop buy and sell signals*): módulo responsável por controlar todo o giro de capital, através do envio de ofertas de compra e venda, cancelamentos e modificações, frequentemente chamado de *algotrader*. Em HFT, estas estratégias podem variar drasticamente em lógica como é explicado na Seção 5. Dentro da lógica apresentada por Irene (9), a estratégia, através de um bom simulador realista, criada por um bom time de pesquisadores, precisa ser validada no módulo de análise *pos-trading*, antes de ser experimentada em tempo real. Muitas vezes estas estratégias ficam mais de um ano em fase de pesquisa, e muitas são inclusive descartadas. Apenas quando elas apresentam resultados validados estatisticamente, que as empresas de *trading* proprietário as levam para produção (conta real). Neste aspecto, HFTs se diferenciam muito de ATs comuns. Fazendo um baixo giro de capital (*turnover of capital*), ATs podem facilmente já validar algumas hipóteses, ou pelo menos ter noção delas, em um mercado real. Como HFTs geralmente possuem um alto turnover, os mesmos utilizam-se de plataformas de simulação com mais propriedade antes de qualquer teste real, simplesmente pelo fato de que, um simples erro, pode causar perdas milionárias aos seus proprietários.

3.6 Vantagens e desvantagens dos HFTs

O crescimento da utilização de HFTs afetou *traders*, sendo eles ATs ou humanos, sendo um assunto controverso até os dias atuais. O uso de HFTs fez com que as pessoas se dividissem em dois lados: um dos lados diz que o mercado se beneficiou do surgimento desses complexos algoritmos que analisam e executam ordens em múltiplos mercados, e o outro diz que a atividade deles é predatória e que os investidores comuns perdem com o crescimento neste tipo de negociação.

O que é indiscutível é que a crescente utilização desses algoritmos de alta frequência causou um grande impacto nos mercados, aumentando bruscamente o volume de ofertas e negociações, reduzindo os spreads e reduzindo a distorção de preços de ativos correlacionados.

“Eles estabeleceram firmemente seu lugar no ecossistema do mercado, servindo principalmente como um facilitador que conecta compradores e vendedores ao longo do tempo, mas também são frequentemente criticados nesse papel por serem supérfluos, ou pior, predatórios.”, disse Ana Avramovic [2017], estrategista do Credit Suisse. Neste mesmo texto, Avramovic cita alguns meios que os HFTs impactaram no mercado.

Começamos avaliando e entendendo os argumentos contrários à utilização de algoritmos de alta frequência.

3.6.1 Os argumentos contra as HFTs

Mesmo após mais de uma década do início de suas operações, HFTs ainda causam desconforto em parte dos investidores do mercado. Um dos argumentos mais citados por aqueles que os criticam é relacionado à velocidade de transações, que ocorre frequentemente na escala de microssegundos, podendo haver, inclusive, milhares de negociações em vários mercados simultaneamente. Com isso, ocorre a desvantagem para os pequenos investidores, que possuem naturalmente um atraso muito maior para completar suas transações. Com isso, HFTs, ao completarem requisições mais rapidamente, podem com frequência conseguir margens, mesmo que na casa dos centavos, se confrontados a investidores menores. No longo prazo, esta diferença pode acarretar no acúmulo de milhões de dólares, até porque a quantidade de oportunidades que podem ser encontradas é muito maior que a de seres humanos.

Um segundo argumento é que os modelos matemáticos e algoritmos implantados podem substituir ou reduzir os analistas no processo de tomada de decisão, retirando ou reduzindo a interação e decisão humana da equação. Com isso, eventos inesperados no mercado são mais suscetíveis a acontecer, sem nenhuma razão aparente, como, por exemplo, o "Flash crash" em maio de 2010, onde o índice Dow Jones declinou 1000 pontos, caindo 10% em aproximadamente 20 mi-

nutos, recuperando valor rapidamente após o evento. Muitos críticos apresentam estudos que culpam os HFTs por este evento.

Outra argumentação contrária é a de que o mercado, em seu formato atual, favorece as grandes empresas e investidores a conseguirem mais dinheiro à custa dos investidores menores, já que conseguem girar o capital muito mais rápido do que os investidores normais por possuírem equipamentos mais modernos e possibilidade de redução de latência através da utilização de *co-location*, o que possibilita a execução de algoritmos em alta frequência.

Há também a crítica quanto à liquidez, onde alguns dizem que os HFTs fornecem, na verdade, uma liquidez falsa, onde o investidor acredita ser existente no momento da abertura de sua ordem e, rapidamente, essa liquidez desaparece por conta de cancelamentos dos próprios HFTs, fazendo com que esses investidores não consigam negociar no preço em que virão no momento do envio de suas ofertas.

3.6.2 Argumentos a favor dos HFTs

Maior liquidez

Com a presença dos HFTs nos mercados, há um aumento na sua liquidez, justamente pela quantidade de ordens abertas por eles, aumentando o volume do mercado e diminuindo a volatilidade, com isso os preços ficam mais confiáveis. Como um exemplo de gerador de liquidez, existem os *market makers*, que lucram gerando liquidez para o mercado, atraindo mais investidores.

Market making é uma das estratégias mais populares na área de alta frequência e basicamente consiste em posicionar no livro de ofertas, ordens tanto na parte compradora quanto na parte vendedora, ambas próximas ou iguais às melhores ofertas do mercado. Esta estratégia visa ser agredida por investidores que enviam ordens a mercado, em ambos os lados, ganhando basicamente com a volatilidade natural da negociação em mercados financeiros. A presença de *market makers* possibilita um investidor comum a enviar ordens com volumes maiores, obtendo um preço médio mais interessante. A falta de presença dos *market makers* causaria, com mais frequência, o que é chamado de *slippage*, que representa o “arrasto” do

preço à medida que uma oferta a mercado vai consumindo no livro de ofertas ordens limite com diferentes preços (sempre para o pior preço à medida em que consome), podendo ser definido também como a diferença entre o preço teórico de execução de uma ordem e o seu preço médio real de execução. Basicamente, quando maior a liquidez, menor é o *slippage* para os investidores e, em grande parte, tal liquidez é promovida por algoritmos de alta frequência.

3.6.3 Redução do *bid-ask spread*

Além de aumentar a liquidez, a presença dos algoritmos formadores de mercado também reduzem naturalmente a diferença dos preços entre a melhor oferta de venda (*ask*) e a melhor oferta de compra (*bid*). Nos principais mercados do mundo, o *spread* é, em maior parte do tempo, igual a um *tick* (valor mínimo permitido).

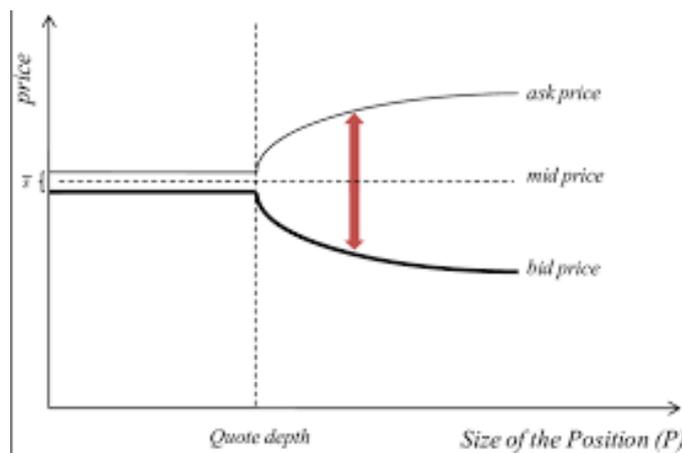


Figura 3.2: Ilustração gráfica do *Bid-Ask Spread*

O mercado, ao receber uma agressão de um *market taker* (tomador de liquidez que envia ordens a mercado), pode resultar em um estado em que o *spread* do ativo pode, naquele instante de tempo após a execução da ordem, ser maior do que um *tick*, principalmente se a oferta apresentar grande volume. *Market makers* reduzem este *spread* novamente a um *tick* muito rapidamente, pois ainda buscam lucro com a volatilidade do mercado. Isso é bom para investidores comuns, que pagarão preços mais justos se agredirem o mercado na tentativa de comprar ou vender ativos. A alta frequência neste ponto apenas auxilia, pois reduz o tempo

em que a diferença do preço de venda e de compra é alta, expondo o investidor comum a uma situação mais interessante para conseguir preços melhores.

3.7 Speed bumps: Tentando contornar distorções

No livro “Flash Boys”, de Michael Lewis, um dos argumentos é de que as negociações mais rápidas dos HFTs fazem com que eles tenham uma vantagem quando comparados a *traders* que não utilizam desta função, conseguindo obter preços mais baixos (ou mais altos em relação à venda) por conseguirem enviar o pedido mais rapidamente do que seus rivais dado que uma oportunidade surge. Vários críticos dizem que os mercados não estão sendo responsáveis o suficiente para restringir a movimentação de capital pelos HFTs, não conseguindo negociar preços justos entre pedidos rápidos e lentos.

A bolsa de valores IEX, criada por Brad Katsuyama - Muito citado no livro de Lewis - ouvindo às críticas, criou o “*speed bump*”.

De acordo com Megan Woodward (10), o mercado financeiro IEX foi o primeiro a oferecer o serviço de “*speed bump*”, ou lombada. Esse serviço faz o que o nome sugere: diminui a velocidade das transações que ocorrem no mercado. No caso da implantação da IEX, era adicionado um delay de 350 microssegundos a cada ordem.

Com a implantação desse método, a SEC teve que adaptar uma de suas normas de que todas as transações deveriam acontecer imediatamente, alterando o tempo de realização da negociação para até no máximo 1 milissegundo.

Com isso, outras três maiores bolsas dos Estados Unidos da América - a NYSE, a CHX (Chicago stock exchange) e a Nasdaq - implementaram seu próprio “*speed bump*”, cada uma com sua peculiaridade, agradando a alguma parte de seu público participante:

- A NYSE implementou o mesmo delay de 350 milissegundos que a IEX, e adicionou um esquema de preço específico;
- Seguindo também a IEX, CHX implementou o delay de 350 milissegundos, mas isentou os *market makers* desse atraso (pois eles são os grandes respon-

sáveis pela redução do *bid-ask spread*);

- A Nasdaq deu a opção aos investidores de poder entrarem na posição com um atraso de 1 segundo, mas que a ordem fosse prioritária e ocorresse antes dos outros investidores que não optarem pelo delay, pelo mesmo preço de quando a ordem foi enviada, a chamada ordem "*extended life*".

O objetivo desses *speed bumps* é dar chance aos investidores de varejo de participar do mercado de curto e longo prazo sem serem prejudicados pelos HFTs tomando as ordens a frente pela sua vantagem da velocidade de envio de ordens. Entretanto, alguns especialistas especulam que os *speed bumps* serão removidos em breve da NYSE, por exemplo.

4

Estratégias utilizadas por HFTs

Após definirmos HFT e entendermos como eles trabalham podemos introduzir algumas estratégias sob as quais eles operam. Dentre elas temos as que os *players* não consideram justas ou ilegais pois afetam o balanço e a saúde de um mercado.

4.1 Estratégias mal vistas

4.1.1 Back Runners

Back Runner é uma estratégia que pode ser usada em alta frequência que analisa o mercado com softwares sofisticados de análise de padrões (muitas vezes utilizando-se de Inteligência Artificial), para reconhecer quando algum outro investidor irá abrir uma ordem. Com isso, ele antecipa a abertura de uma ordem, por exemplo comprando quando a outra empresa iria comprar, alavancando o preço do ativo e, assim, lucrando às custas de outro investidor.

Esta prática é considerada predatória, mas não ilegal, por apenas utilizar de informações disponíveis a todos no mercado para inferir um padrão de compras de outro investidor. De acordo com a SEC, antecipação de ordens “Envolve qualquer meio de verificar a existência de um grande comprador ou vendedor que não envolva apropriação indevida de informações ou outra má conduta. Exemplos incluem o emprego de um sofisticado software de reconhecimento de padrões para verificar, a partir de informações publicamente disponíveis, a existência de um grande comprador na tentativa de localizar e negociar na frente de grandes *players*” (11).

O mecanismo desses HFTs funciona no modelo padrão Kyle (1985). No primeiro período, apenas o alvo do *back runner* e os outros investidores - que adicio-

nam ruído aos dados - mandam ordens ao mercado, que são concluídas. Apenas após esse período acabar é que o HFT *back runner* observa o fluxo de ordens do primeiro investidor, e no segundo período, o HFT manda ordens antecipadas ao mercado, entrando com uma ordem à frente do investidor.

Como citado no artigo *Back-running: Seeking and hiding fundamental information in order flows* (11), a presença de *back runners* pode prejudicar a descoberta de preços reais no mercado no primeiro período, mas melhora no segundo, e por isso, o impacto desses *back runners* é misto.

Essa ação dos HFTs muda seu comportamento de geradores de liquidez, por comprarem (ou venderem) suas ações em antecipação a uma grande venda (ou compra) de grandes empresas, mudando de alguma forma a dinâmica dos preços no mercado.

4.1.2 Spoofy

Spoofy é a técnica de abrir ordens que ficam visíveis no livro de ofertas, mas que o investidor não tem a intenção de realizá-las, as cancelando algum tempo depois. Enquanto esta ordem ainda está ativa, cria-se uma falsa impressão de liquidez no mercado, o que pode causar movimentos no preço dos ativos. A alta frequência auxilia os utilizadores da prática a cancelarem as ofertas com menor risco, pois podem aguardar o preço estar mais próximo do valor da oferta antes de seu cancelamento.

Por exemplo, um investidor abre uma ordem de limite com razoável volume. Outros investidores consideram esta ordem como força de mercado e o preço das negociações logo após sua inserção se modifica pela falsa impressão de liquidez. Antes do cancelamento da ordem, o investidor que a colocou pode tentar explorar esta movimentação reativa no preço do ativo causada pelos outros investidores que estão vendo esta ordem no livro de ofertas, sendo eles ATs ou não.

Muitas vezes, o *spoofy* é acompanhado de *wash trading* (Seção 4.1.3), que alimenta o mercado com ordens que sugerem que a informação falsa é verdadeira, atraindo mais investidores para este mercado, movimentando cada vez mais o preço do ativo em questão.

Os mercados, em grande maioria, consideram a prática de *spoofy* e *wash trading* ilegais, o que não ocorre ainda nos mercados de cripto moedas por estes não serem devidamente regulados. Obviamente que isso tende a se modificar em um futuro próximo.

4.1.3 Wash trading

Wash trading é a técnica de alimentar informações falsas ao mercado. Ou as compras e vendas são feitas pela mesma pessoa, ou entre os *players* que estão trabalhando juntos, não havendo real movimentação no dono daqueles papéis. *Wash trading* é ilegal nos Estados Unidos da América, sob pena de pagar em forma de taxas todo o dinheiro perdido por investidores por causa da prática.

Wash trades podem ser usados para gerar volume em mercados alterando o preço do ativo como consequência. Por exemplo, se um investidor negocia com seu parceiro segurando o preço do mercado em uma certa faixa acima do seu preço real, outros investidores, vendo o volume de negócios, fazem ofertas com base na alteração de seus indicadores. Neste caso, o *wash trader* tenta explorar a reação do mercado em função da falsa impressão que ele ocasionou ao trocar ativos sem que aquilo representasse a realidade do mercado de fato.

4.1.4 Quote Stuffing

Quote Stuffing é a prática de inundar o mercado com milhares ou milhões de ofertas, geralmente com preços improváveis de serem atingidos nos próximos instantes de tempo, abrindo e cancelando várias vezes por segundo para que esta informação seja propagada e lida por outros algoritmos sem a real necessidade, fazendo com que os competidores percam tempo com seu processamento. O praticante de *quote stuffing* geralmente possui *hardware* melhor que seus competidores, sendo capaz de gerar um volume de ofertas que será improvável de ser processado pelos seus competidores, afetando diretamente seus *buffers*, minimamente causando atrasos, ou causando *crashes* nos algoritmos competidores, caso os mesmos possuam *buffers* pequenos.

A prática é realizada em conjunto com outra estratégia para geração de valor,

pois, ao causar atraso em seus competidores, o mesmo pode explorar outros fatores do mercado quase que isoladamente, sem se preocupar em processar dados que são, na verdade, falsos.

Os reguladores de mercado (SEC, por exemplo), impuseram multas para os HFTs que praticassem o *quote stuffing*, por diminuir a velocidade que os investidores possuem para ler e reagir às novas cotações no mercado. A antiga BM&F Bovespa, possuía uma relação de, a cada x ofertas enviadas, pelo menos uma deveria ser executada. Caso contrário uma multa era aplicada. Trata-se de uma prática simples de ser identificada com fácil exclusão do *player* do mercado.

4.1.5 Iceberg order

Iceberg order se define por um conjunto de grandes ordens subdivididas em pequenas ordens limite. O objetivo desse tipo de estratégia é esconder a real quantidade de ordens que estão sendo negociadas, daí vem o nome *Iceberg* já que tudo que as pessoas podem ver é o topo do *iceberg* comparada a todo número de ordens que estão sendo negociadas.

Ela é mais comumente utilizada por grandes instituições para alocar grandes quantidades para sua carteiras sem alertar o mercado sobre o investimento, que poderia causar pânico. Além de reduzir os movimentos de preço na cadeia de oferta e demanda, ordens menores mascaram a forte pressão de venda ou compra de um ativo. Padrões indicam que *traders* tendem a identificar os movimentos causados pela operação e operar segundo ordens parecidas aumentando a liquidez e minimizando os impactos causados por uma *iceberg*.

4.2 Market making

Como já resumido na seção que discute vantagens dos HFTs, *market makers* (formadores de mercado) oferecem liquidez. Em alguns ativos menos líquidos, se considerado apenas os investidores não algorítmicos, o *spread* do ativo seria alto demais, com baixa oferta em bons preços, assim como era muito comum em um passado recente. Neste caso, muitas vezes, alguns mercados oferecem benefícios para quem forma mercado nestes ativos, muitas vezes através de um contrato

de três partes entre a empresa do ativo, o mercado e o proprietário do algoritmo formador de mercado. Alguns exemplos de grandes empresas que fornecem esse tipo de serviço de *market making* são BNP Paribas, Deutsche Bank, Morgan Stanley e UBS. Os *market makers* contratados geralmente possuem um conjunto de regras a serem seguidas como, por exemplo, manter um *spread* abaixo de um valor pré-estabelecido, prover uma liquidez mínima nos livros de compra e venda, dentre outras. Estes algoritmos são importantes pois reduzem volatilidade, o que geralmente atrai investidores.

No intuito de melhorar a liquidez de forma geral, mesmo que os formadores de mercado não tenham contrato direto com a bolsa, geralmente descontos transacionais são oferecidos para quem muito negocia. Como *market makers* estão geralmente no início da fila no livro de ofertas, sendo então agredidos em um grande volume, podendo obter estes descontos transacionais a depender do turnover.

Na antiga BM&F Bovespa, por exemplo, se o algoritmo tivesse estrutura de HFT e também atingisse um giro de capital maior que alguns limiares, estes eram beneficiados em taxas (quanto maior o volume financeiro, maior era o desconto, caindo de 2,5 pontos base para 1,7 pontos base em função do giro de capital, sendo este computado diariamente). Posteriormente este desconto foi aplicado para todos os *daytraders*, independentemente de suas estruturas computacionais. Atualmente, a B3 também aplica descontos para quem apresenta alto giro de capital, independentemente se o *player* possui estrutura de HFT ou não. Isso se aplica em muitos mercados mundiais.

Relacionado a isso, em alguns mercados de criptomoedas, para estimular o aumento de liquidez e atrair novos investidores, as *exchanges* aplicam taxas mais atrativas para negócios que não agridem o mercado, ou seja, aqueles que colocam ordens limite que aguardam no livro de ofertas, sem agredir a ponta contrária, fornecendo assim liquidez ao ativo.

Também é muito comum que um *player* HFT faça uso de mais de uma corretora durante seu processo de formação de mercado, com o objetivo de não ser mapeado através de processos de engenharia reversa por outros competidores. Para manter os descontos em custos transacionais, pelo menos, no Brasil, a B3

aplica os descontos em função do giro de capital por CPF ou CNPJ, não considerando apenas aquele *player* em apenas uma corretora.

4.3 Arbitragem

Existem alguns tipos de algoritmos de arbitragem no mercado que são explorados geralmente em alta frequência, mas não se limitando unicamente a ela. Ao longo desta seção alguns tipos serão descritos.

4.3.1 Riskless Arbitrage

De forma resumida, a arbitragem sem risco, ou também chamada de arbitragem pura, é quando o mesmo ativo negociado em mercados distintos se “dessincronizam”. Isso significa que o mesmo ativo tem um preço maior em um mercado, se comparado a outro mercado, fazendo com que os HFTs possam comprar no mercado de menor valor e vender ao mesmo tempo no outro de maior (ou vice-versa), ganhando “sem risco algum”. A distorção precisa ocorrer nos dois livros de ofertas, sendo que o mesmo ativo será liquidado no mesmo mercado. Por exemplo: É possível comprar neste instante o ativo A no mercado X ao preço K (agredindo o livro de ofertas da venda no mercado X), podendo vender o mesmo ativo A no mercado Y pelo preço $K+e$ (agredindo o livro de ofertas de compra do mercado Y), sendo e uma constante positiva.

Embora seja chamada de arbitragem sem risco, o atraso na comunicação em dois ou mais mercados distintos pode fazer com que os preços desejados não sejam alcançados, incluindo uma componente de risco neste processo.

É importante ressaltar que poucos HFTs possuem infraestrutura para conseguirem competir e atuar neste ramo, pois, de todas as estratégias, esta é a que exige o melhor poder de processamento, menor latência e, basicamente, apenas o melhor *player* irá ser bem-sucedido consumindo toda a liquidez daquela oportunidade.

Embora seja basicamente uma estratégia de tomada de liquidez, a arbitragem sem risco faz com que ambos os mercados se equilibram em preço, aumentando

conceitualmente a eficiência dos mesmos.

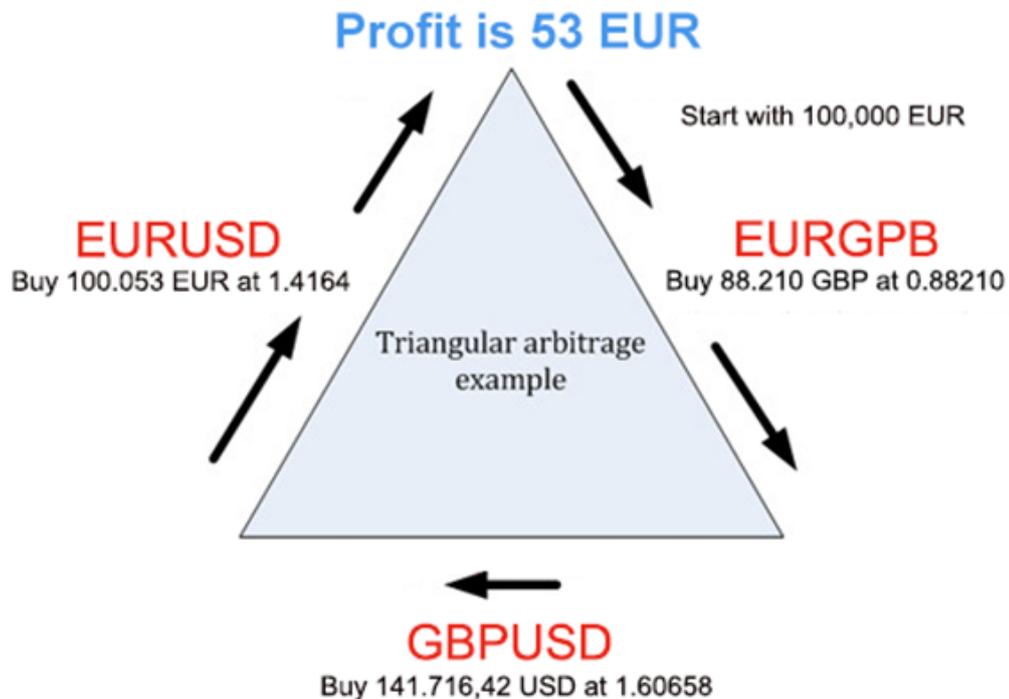


Figura 4.1: *Riskless arbitrage*: Imagem mostra diferença em valores na compra de outra moeda. No final do ciclo, há lucro positivo pelo investidor. (12)

4.3.2 Statistical arbitrage

Há diferentes definições para arbitragem estatística, e aqui estão descritas algumas delas. Esta forma de arbitragem utiliza análise estatística para investir em mais de um ativo, sendo este do mesmo ou de diferentes mercados, em um curto intervalo de tempo. Os HFTs geralmente identificam oportunidades de arbitragem por modelos matemáticos ou inteligência artificial.

Seguem algumas definições para a arbitragem estatística definidas por LAZZARINO (13):

4.3.3 Takeover and Merger Arbitrage

Nesse tipo de arbitragem, os HFTs procuram no mercado duas empresas que estão se fundindo (por exemplo, a empresa A está comprando a empresa B). Nesse tipo de negociação, se a empresa A tem maior valor por ação que a empresa B, o HFT compraria a longo prazo as ações da empresa B e venderia a curto prazo as ações da empresa A, pois o preço da empresa B tende a subir para equalizar ao valor da empresa A, e o preço da empresa A tende a cair, para refletir o valor gasto para a compra das ações da empresa B. Neste tipo de arbitragem, há o risco de a transação não ocorrer, o que pode significar a queda ou aumento dos preços de tais empresas. Não é uma oportunidade muito comum, mas, a partir do momento que sai a primeira notícia, o preço tende a se regular muito rapidamente.

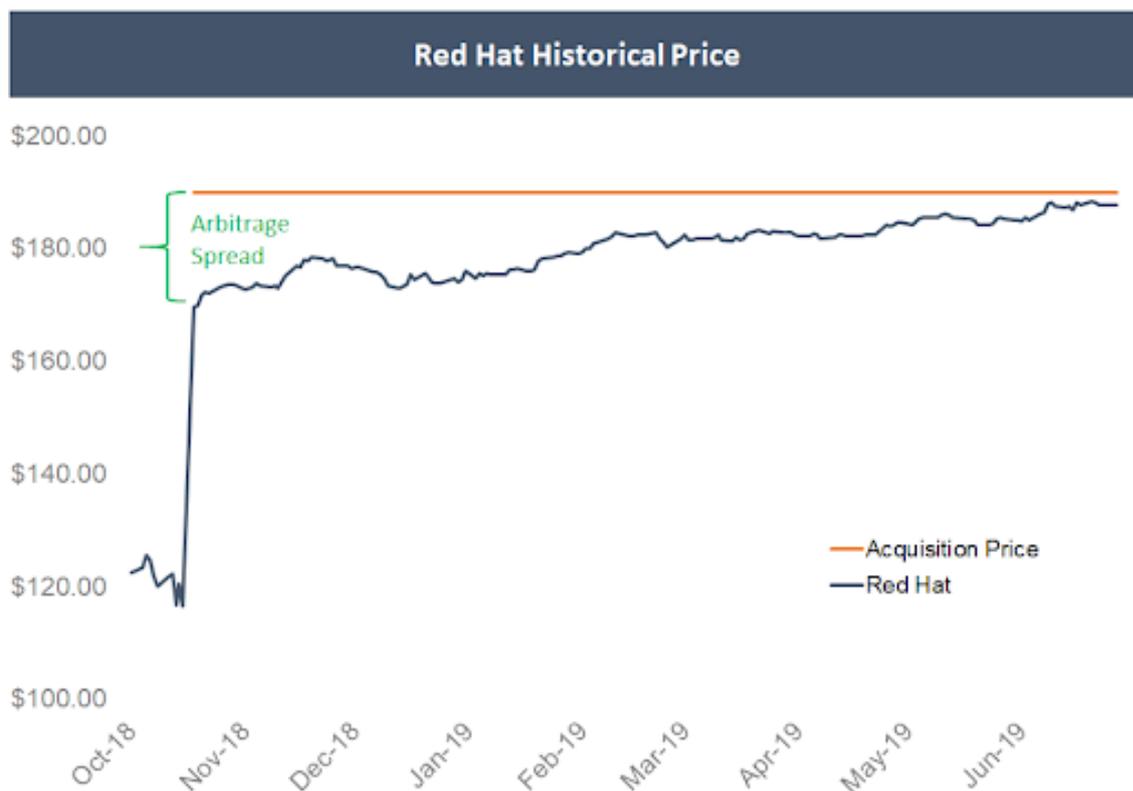


Figura 4.2: *Takeover and Merger arbitrage*: Diferença entre preço de aquisição e o preço das ações (*spread*). A empresa compradora ganha o *spread* na aquisição. (14)

4.3.4 Pair trading

Pair trading é uma estratégia onde se encontram dois ativos em que, historicamente, os preços têm se movidos em uma faixa de “sincronia”, ou seja, dois ativos “correlacionados” (geralmente co-integrados, estatisticamente falando). Tendo esses dois ativos no escopo do HFT, é possível acompanhar seus preços em tempo real, incluindo seus livros de ofertas, e se os dois preços se distanciar, vende-se a melhor ação e compra-se a retardatária. Se a diferença do preço entre eles voltar ao valor esperado, a estratégia poderá lucrar no fechamento das posições previamente abertas. Um erro comum de algoritmos que não estão em alta frequência é não avaliar os livros de ofertas dos dois ativos e tentar aplicar a prática utilizando-se apenas da informação do LTP (*last trade price*) ou informações de *candles* (*open, high, low, close*). Ruídos são comuns em mercados financeiros e o LTP e os *candles* não fornecem informação sobre a liquidez real dos ativos nas pontas dos books, fornecendo assim vantagens aos HFTs que podem identificar a possível oportunidade rapidamente.

Esta estratégia só é executada se a correlação entre esses ativos for grande o suficiente, o que pode ser estimado por estatística, por exemplo. Esta técnica também pode ser utilizada para medir a correlação entre diferentes portfólios, ou até mesmo expandida de dois ativos para uma rede de ativos. Neste contexto, o ramo da Inteligência Artificial tem ganhado razoável destaque ao analisar e prever o comportamento de redes complexas no tempo.

4.3.5 Term structure arbitrage

Term structure é uma estratégia comum que envolve se ter uma posição neutra de curto-longo prazo em diferentes pontos da *term structure* como sugerido por uma análise relativa de valor. Posições são mantidas até que o negócio se convirja e a diferença de preços desapareça. Este tipo de arbitragem é bem limitada e geralmente foca em modelos de *interest rates*. Esta estratégia, utilizada em *commodities*, utiliza modelos que identificam oportunidades de valores relativos pela curva. Uma implementação utilizada em *commodities* é descrita por Mou que identifica oportunidades de investimento crescendo no mercado futuro do índice princi-



Figura 4.3: *Pair trading arbitrage*: Como podemos ver, as duas empresas se correlacionam. (15)

pal de *commodity*. Em crédito, oportunidades SA em *term structure* para CDS é estudado por Jarrow, Li e Ye.

4.3.6 Gamma trading

Gamma trading joga com a volatilidade implícita e a histórica de um determinado ativo. Se a volatilidade esperada exceder a volatilidade implícita no preço do ativo, arbitragem pode lucrar comprando uma opção e restringindo o *delta* no mercado subjacente. A renda positiva é proporcional a

$$0.5 * S^2 * \Gamma * (RealizedVariance - ImpliedVariance)$$

onde S é o preço do subjacente e Γ é o *gamma* da opção.

De acordo com James Chen (16), *Gamma* é a taxa de variação no *delta* (Variação na sensibilidade do ativo (17)) de uma opção 1 por ponto de variação no preço do ativo subjacente. *Gamma* é uma importante medida da convexidade de um valor derivado, em relação ao subjacente. Um estratégia *delta hedge* busca reduzir o *gamma* para manter o *hedge* sob um range maior de preços.



Figura 4.4: *Gamma trading arbitrage*: Exemplo de estratégia utilizando o gamma, onde se compra quando o delta está subindo, e vende-se quando o delta cai, fazendo com que a posição fique neutra, e o investidor ganha na variação do mercado (volatilidade). (17)

4.3.7 Volatility surface arbitrage

Primeiramente introduzimos a superfície da volatilidade, segundo Craig Anthony (18) é um gráfico tridimensional da volatilidade implícita das opções de ações que parece existir devido a discrepâncias de como o mercado quantifica as opções de ações e quais modelos de preço de opções devem ser usados. A arbitragem de superfície de volatilidade então é uma estratégia de valor relativo que negocia as volatilidades implícitas nos subjacente em diferentes pontos da superfície de volatilidade. Os árbitros identificam anomalias nas volatilidades implícitas nos diferentes preços de exercício e vencimentos e lucram com as opções de compra/venda cuja volatilidade implícita é excessivamente baixa/alta.

4.3.8 Capital structure arbitrage

Também definido por Marcin Wojtowicz (20), este tipo de arbitragem tem como estratégia a de abrir ordens de curto ou longo prazo em várias partes de uma

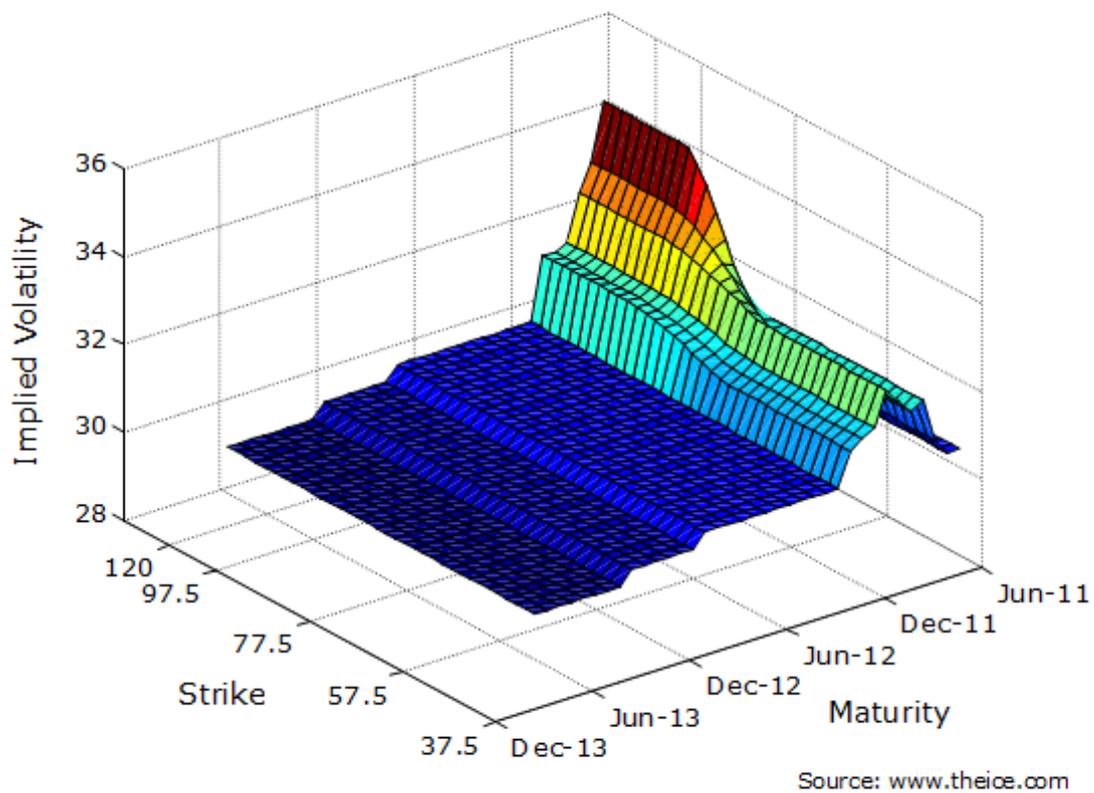


Figura 4.5: *Volatility surface arbitrage*: Exemplo de superfície de volatilidade. (19)

empresa, como no crédito, débito e equidade. O HFT compara os preços entre e o *company's credit default swap* (CDS) e sua equidade, que checa o *spread* entre esses preços. O HFT também computa o *spread* teórico que ele acharia entre esses ativos. Se o *spread* for maior do que o esperado, então é aberto uma posição de curto prazo no CDS enquanto protege a equidade abrindo também uma posição de curto prazo. Para casos em que o *spread* é menor do que o esperado, ocorre o contrário, abrindo uma posição de longo prazo no CDS e uma de longo prazo na equidade.

Figure 2.1: Model description

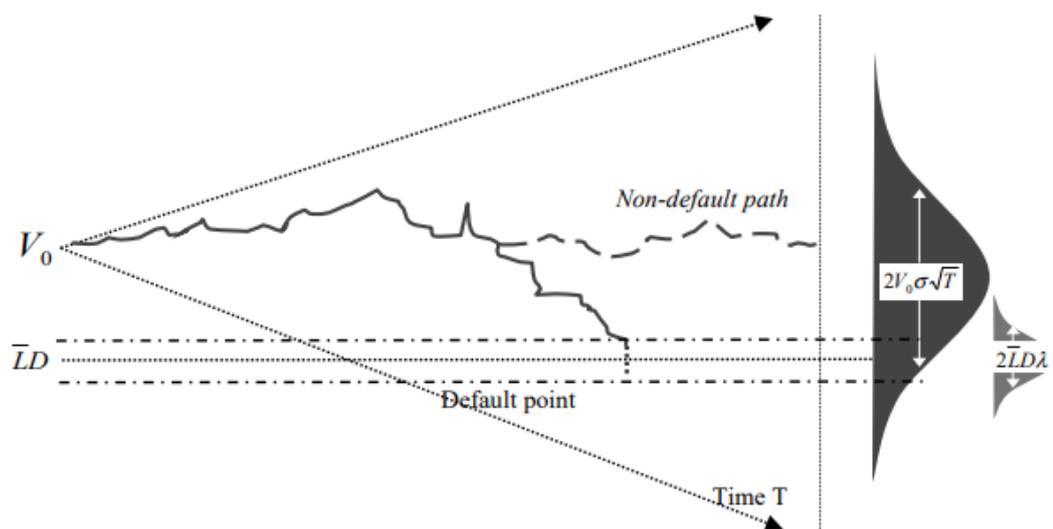


Figura 4.6: *Capital structure arbitrage*: Diferença entre *spread* visto e o *spread* esperado. (21)

4.3.9 Convertible Arbitrage

Como definido por James Chen (22), *Convertible Arbitrage* é uma das mais populares estratégias de estruturas de capital, ela envolve a compra de um portfólio de títulos conversíveis enquanto vende em curto prazo os ativos subjacentes. A estratégia consiste em uma compra de curto-longo prazo onde o investidor vende a curto prazo em uma parte da empresa, enquanto investe, por exemplo, em debênture com a mesma empresa. Se o valor da empresa cair, o investidor ganha

com seu investimento a curto prazo, enquanto seu investimento em debênture está protegido, pois é um investimento de renda fixa. Se o valor da empresa subir, o valor da perda em curto prazo está protegido pelo investimento a longo prazo.

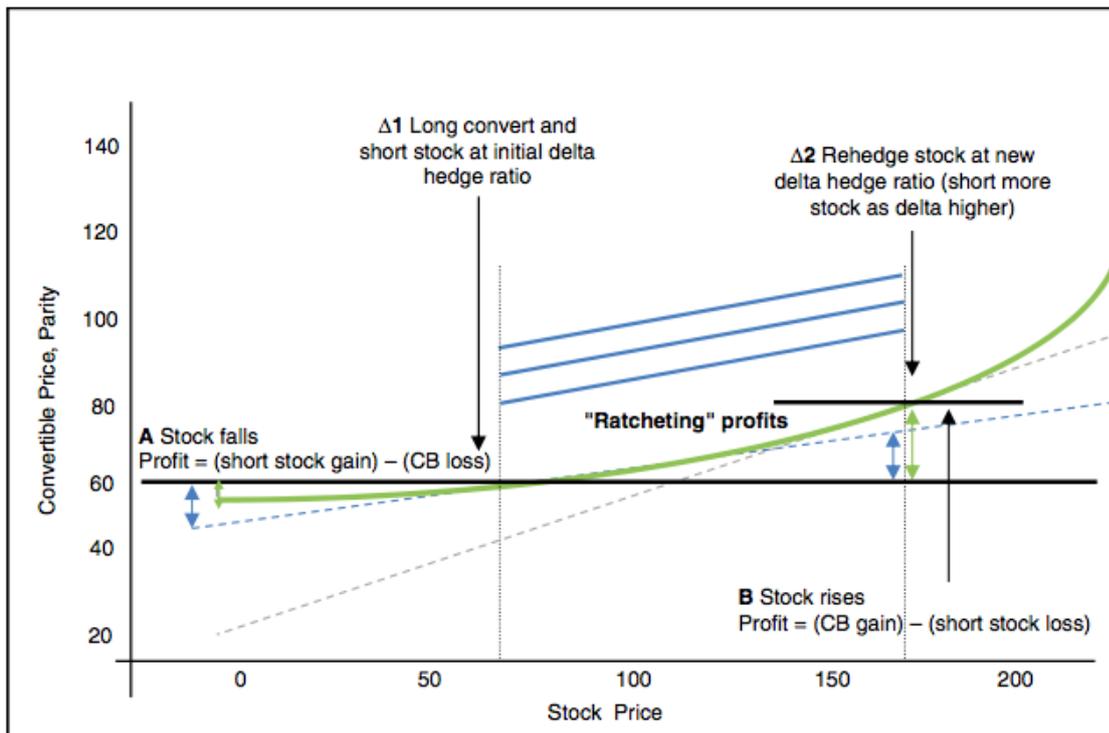


Figura 4.7: *Convertible arbitrage*: Podemos ver que quando o preço do ativo cai, temos uma perda que é segurada pela posição em longo prazo de renda-fixa. Quando o valor sobe, temos a nova entrada do investido com os mesmo investimentos no ativo crescente. (23)

5

Considerações finais

Concluimos então, segundo a análise desse trabalho, que o HFT é um técnica que ainda causa muitas controvérsias no universo do mercado de ações, onde muitos dos usuários comuns veem como injusta ou ilegal, pois promove oportunidades que a grande maioria não teria acesso. Contudo, a maioria dos tópicos observados traz muitos pontos positivos a favor do método, que tem vários argumentos a favor, dizendo que diminui o *bid-ask spread* dos ativos e aumenta a liquidez, beneficiando o sistema como um todo.

Contudo, necessita de muito conhecimento técnico para ser implantado de maneira aceitável. Seu operador deve conhecer nuances específicos e ter uma visão de mercado muito completa, além de ter conhecimento das microestruturas de mercado para poder operar nas variações e diferenciar seu portfólio de investimentos gerando um risco menor de perda. Montar uma estratégia que seja sólida e permita liquidez é o maior desafio nos algoritmos de *trading* tendo em vista a extrema volatilidade e imprevisibilidade presente na estrutura do mercado financeiro.

Outro empecilho notado é que para poder ter um algoritmo realmente competitivo nesse universo, depende de investimento por parte do operador na parte de infraestrutura dos computadores, já que o mesmo necessita de um tempo de resposta muito curto e um processamento extremamente rápido. Esses tipos de características são caras, o que limita mais esse ramo às grande empresas, que possuem o capital de investimento necessário. Em todo, é uma área muito restrita e que a maior parte dos operadores do mercado não tem acesso por conta de capital, mas que eles devem aprender a lidar pois tudo indica um crescimento contínuo da área no futuro.

Referências Bibliográficas

1 DIGITAL, B. P. *Mercado Financeiro: o que é, como funciona e para que serve*. 2017. Disponível em: <<https://www.btgpactualdigital.com/blog/financas/mercado-financeiro>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

2 ANBIMA. *Raio X do Investidor 2019*. 2019. Disponível em: <https://www.anbima.com.br/pt_br/especial/raio-x-do-investidor-2019.htm>. Acesso em: 20 nov. 2019.

3 DIGITAL, B. P. *O que é Day Trade, como funciona, vantagens, riscos e mitos*. 2018. Disponível em: <<https://www.btgpactualdigital.com/blog/investimentos/o-que-e-day-trade-comod-funciona-vantagens-riscos-e-mitos>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

4 LAGO, T. *Análise técnica do Bitcoin*. 2019. Disponível em: <<https://cointimes.com.br/analise-tecnica-do-bitcoin-30-10/>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

5 THIAGOBALONYI. *EURUSD Canal*. 2019. Disponível em: <<https://br.tradingview.com/chart/EURUSD/CNBx81gA/>>. Acesso em: 03 jan. 2020.

6 CHORDIA, T. et al. High-frequency trading. *Johnson School Research Paper Series*, 2013.

7 ESMA. *ARTICLE 4 - DEFINITIONS*. 2019. Disponível em: <<https://www.esma.europa.eu/databases-library/interactive-single-rulebook/mifid-ii/article-4>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

8 COMMITTEE, C. T. A. Cftc technical advisory committeesub-committee on automated and high frequency trading –working group 1. *Business Insider*, 2012. Disponível em: <<https://www.cftc.gov/sites/default/files/idc/groups/public/@newsroom/documents/fil>>. Acesso em: 7 nov. 2019.

9 ALDRIDGE, I. *High-Frequency Trading*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013. 306 p.

10 WOODWARD, M. *Bumping Up the Competition: The Influence of IEX's Speed Bump in US Financial Markets*. 2018.

- 11 YANG, L.; ZHU, H. Back-running: Seeking and hiding fundamental information in order flows. *Rotman School of Management Working Paper*, 2018.
- 12 FOREX. *UNDERSTANDING AN ARBITRAGE STRATEGY IN FOREX TRADING*. 2018. Disponível em: <<https://livefxsignals.com/blog/understanding-an-arbitrage-strategy-in-forex-trading/>>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- 13 LAZZARINO, M.; BERRILL, J.; SEVIC, A. What is statistical arbitrage? *Theoretical Economics Letters*, v. 08, 01 2018.
- 14 KLYMOCHKO, J. *Merger Arbitrage: A Strategy for Consistent Profits in the Market*. 2019. Disponível em: <https://medium.com/@julian_34159/merger-arbitrage-a-strategy-for-consistent-profits-in-the-market-10be7fca863>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- 15 STRATEGIES, T. *Pairs Trading - The Secret to Cashing Profits*. 2020. Disponível em: <<https://tradingstrategyguides.com/pairs-trading/>>. Acesso em: 19 jan. 2020.
- 16 CHEN, J. Arbitrage. *Investopedia*, 2018. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/a/arbitrage.asp>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 17 HILL, S. J.; O'DONOHUE, V. D. *Gamma Trading: Why Big Market Swings Can Be Good News*. 2015. Disponível em: <<https://www.calamos.com/blogs/voices/2015-11-20-jh-do-gamma-trading>>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- 18 ANTHONY, C. *The Volatility Surface Explained*. 2018. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/articles/stock-analysis/081916/volatility-surface-explained.asp>>. Acesso em: 20 nov. 2019.
- 19 ENERGY, T. *Volatility surface for the UK gas market*. 2011. Disponível em: <<https://timera-energy.com/gas-volatility-surface/>>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- 20 WOJTOWICZ, M. Capital structure arbitrage revisited. *Available at SSRN 2497162*, 2014.
- 21 VEYVER, S. V. den. *Capital Structure Arbitrage*. 2019. Disponível em: <<https://www.simonvan.be/capital-structure-arbitrage/>>. Acesso em: 19 jan. 2020.
- 22 CHEN, J. *Convertible Arbitrage Defined*. 2018. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/c/convertiblearbitrage.asp>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

- 23 ALTEXPLOIT. *Convertible Arbitrage. Thought of the Day 108.0*. 2017. Disponível em: <<https://altexploit.wordpress.com/2017/10/19/convertible-arbitrage-thought-of-the-day-108-0/>>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- 24 PICARDO, E. Understanding high-frequency trading terminology. *Investopedia*, 2019. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/articles/active-trading/042414/youd-better-know-your-highfrequency-trading-terminology.asp>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 25 CHAPARRO, F. Credit suisse: Here's how high-frequency trading has changed the stock market. *Business Insider*, 2017. Disponível em: <<https://www.businessinsider.com/how-high-frequency-trading-has-changed-the-stock-market-2017-3there-are-a-small-number-of-price-gaps-or-big-jumps-in-large-cap-stock-prices-4>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 26 AVRAMOVIC, A. We're all high frequency traders now. *Credit Suisse*, 2017. Disponível em: <http://www.smallake.kr/wp-content/uploads/2017/10/HFT_world.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 27 LONGSWORTH, J. Are high frequency traders good or bad for the markets? *Seeking Alpha*, 2017. Disponível em: <<https://seekingalpha.com/article/4074972-high-frequency-traders-good-bad-markets>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 28 KORAJCZYK, D. M. R. Do high-frequency traders deserve their bad rap? *Kellogg Insight*, 2015. Disponível em: <<https://insight.kellogg.northwestern.edu/article/do-high-frequency-traders-deserve-their-bad-rap>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 29 BLOOMENTHAL, A. What maker-taker fees mean for you. *Investopedia*, 2018. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/articles/active-trading/042414/what-makertaker-fees-mean-you.asp>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 30 REIS, T. What maker-taker fees mean for you. *Suno Research*, 2018. Disponível em: <<https://www.sunoresearch.com.br/artigos/market-maker/>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 31 PALMER, B. Broker vs. market maker: What's the difference? *Investopedia*, 2019. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/ask/answers/06/brokerandmarketmaker.asp>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 32 KENTON, W. Designated market maker (dmm). *Investopedia*, 2019. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/d/designated-market-maker-dmm.asp>>. Acesso em: 7 nov. 2019.

- 33 NYSE. *The NYSE Market Model*. 2019. Disponível em: <<https://www.nyse.com/market-model>>. Acesso em: 27 nov. 2019.
- 34 FRANKENFIELD, J. Spoofy. *Investopedia*, 2019. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/s/spoofy.asp>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 35 CHEN, J. Wash trading. *Investopedia*, 2019. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/w/washtrading.asp>>. Acesso em: 7 nov. 2019.
- 36 DOWNEY, L. Quote stuffing. *Investopedia*, 2019. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/q/quote-stuffing.asp>>. Acesso em: 7 nov. 2019.