

High Frequency Trading: Abordagem Clássica para Análise de Preço-Volume em uma Nova Microestrutura de Mercado

ALCIDES CARLOS DE ARAUJO

USP - Universidade de São Paulo
alcides.carlos@yahoo.com.br

ALESSANDRA DE AVILA MONTINI

USP - Universidade de São Paulo
amontini@usp.br

High Frequency Trading: Abordagem Clássica para Análise de Preço-Volume em uma Nova Microestrutura de Mercado

INTRODUÇÃO

Segundo Aldridge (2010) o *High Frequency Trading* (HFT) tomou *Wall Street* como um furacão, tendo como principal razão sua imensa rentabilidade. Em 2009, nos E.U.A., o HFT representava em torno de 60% do volume transacionado nas bolsas de valores, quanto aos retornos, alguns fundos HFT, como por exemplo, O Medalion Fund, apresentou rendimentos anuais médios de 35% (entre 2000 e 2010) e os fundos da Renaissance que superaram o S&P500 em meio à crise de 2008 em torno de 4% a 6%. Aldridge (2010) ainda comenta que 50% das posições abertas para emprego na área de finanças envolviam conhecimento em HFT, sendo que isto ocorreu no auge da crise de 2008.

No Brasil, as operações se tornaram completamente automatizadas somente em 2005, quando o pregão viva-voz foi encerrado. Pinheiro e Gomes (2008) argumentam sobre esta mudança também ter colaborado para o crescimento do volume transacionado após este evento; segundo os autores, com operações informatizadas, existe um aumento na velocidade de processamento das informações e menor desgaste dos funcionários, o que melhora o atendimento e atrai um maior número de clientes (investidores).

Dado estas informações, pode-se prever um ritmo mais lento para as operações de alta frequência no mercado financeiro do Brasil. Segundo relatório da gestora Trapezus (2011) estima-se que as primeiras estratégias quantitativas no Brasil iniciaram entre 2005 e 2006; em 2011 o volume gerido representava somente 1% da indústria de fundos brasileira, sendo que ainda não existia uma classificação formal para os fundos quantitativos no Brasil. Existe um esforço pela CVM (Comissão de Valores Mobiliários) conforme apresenta Portugal (2010), porém o ritmo ainda é mais lento em relação aos E.U.A.

Entretanto, os empresários brasileiros possuem o objetivo de aumentar o número de operações por alta frequência até final de 2013, principalmente pela acirrada corrida das corretoras na disputa por clientes, necessitando de maiores investimentos em infraestrutura tecnológica e mão de obra mais qualificada.

Segundo Mazzoni (2012) o momento é realmente propício para o crescimento das operações de alta frequência, ao entrevistar um dos executivos da área recebeu respostas altamente otimistas, por exemplo: “*The Brazilian market is in excellent position for growth and our goal is to focus on Brazil*”. Os empreendedores desta área percebem no Brasil um estágio semelhante ao dos E.U.A. antes do rápido crescimento das operações HFT.

Mediante a importância e do crescente avanço do tema, diversas opiniões são realizadas, além de outras que são levantadas por operadores, analistas e gestores. Deste modo, Kupfer (2011) fomentou uma pergunta pertinente em relação ao trabalho dos operadores de alta frequência; dado que muitos possuem opiniões sobre o trabalho destes agentes, mas “quantos realmente entendem como eles trabalham?”.

As quantidades de perguntas a serem respondidas em HFT não se limitam aos questionamentos levantados por operadores, analistas e gestores. O órgão regulador do mercado de capitais americano, a SEC (*Securities and Exchange Commission*), apresentou um documento que levantou em torno de 215 perguntas a respeito do funcionamento e regulação da estrutura do mercado financeiro norte americano na presença de operações de alta frequência (SEC, 2010).

Segundo Portnoy (2011) estratégias de HFT utilizam computadores para aplicarem algoritmos complexos criados para buscar diferentes oportunidades nas bolsas de valores. Estes buscam antecipar qual direção algum ativo financeiro é provável seguir numa dada fração de segundo em meio às condições de mercado e análises estatísticas do desempenho passado do ativo da empresa.

Segundo Aldridge (2010) na conceituação do termo é importante diferenciar HFT dos conceitos de *Electronic Trading* e *Algorithmic Trading*, dado que existe uma confusão entre os termos. O *Trading* Eletrônico se refere à capacidade de transmissão de ordens eletronicamente, ou seja, sem uso de telefone, carta ou viva-voz. O *Algorithmic Trading* utiliza complexos algoritmos para organizar o processo de execução de ordens. Deste modo, o *High Frequency Trading* se refere à rápida realocação de capital, em que as transações podem ocorrer em milésimos de segundos, para que as operações sejam flexíveis, muitos sistemas HFT são construídos utilizando algoritmos complexos para otimizar o envio de ordens, analisar dados obtidos e tomar as melhores decisões de compra e venda.

Mediante a evidência do HFT, Portnoy (2011) apresenta um debate pertinente entre os que são a favor do desenvolvimento deste mercado e aqueles que são contra. Aldridge (2010) cita quatro pontos benéficos aos mercados pelo uso da alta frequência: aumento da eficiência, aumento da liquidez, maior desenvolvimento tecnológico e estabilização dos sistemas de mercado.

Entretanto, os opositoristas também possuem fortes argumentos contra a prática do HFT, um dos argumentos é que os computadores não possuem real conhecimento sobre o que são as empresas nem o que elas fazem; sendo que os investidores de HFT podem manipular o mercado, dado os grandes volumes transacionados e as rápidas respostas a novas informações. Os posicionamentos dos opositoristas receberam forte atenção após o episódio denominado *Flash Crash*.

Segundo Kirilenko et al (2011), no dia “6 de Maio de 2010” os índices de ações, futuros, opções e fundos do mercado financeiro americano apresentaram uma súbita queda de preços superior a 5% seguido por outra súbita recuperação, sendo que tudo isto ocorreu em torno de 30 minutos. Este dia com volatilidade nada convencional ficou marcado como “*Flash Crash Day*”; a partir disto, diversas questões foram levantadas a respeito da estrutura e estabilidade do mercado financeiro dos E.U.A.

A partir do conceito estabelecido e o debate levantado no mercado norte americano; faria sentido este debate no Brasil com mercado ainda em crescimento? Aliás, as estratégias de HFT apresentariam rentabilidades comparáveis com os retornos vistos nos EUA quando iniciaram estas operações? Setti (2012) ao entrevistar um especialista de mercado recebeu respostas consideradas pessimistas, dado que o entrevistado questiona as premissas das operações de alta frequência.

O especialista argumenta que não faz tanto sentido o uso das operações de HFT no Brasil em relação aos E.U.A, principalmente, devido a falta de agentes no mercado, além da necessidade de um número maior de investidores. Ou seja, seria necessário um número maior de participantes comprando e vendendo em alta velocidade para que o volume transacionado pudesse trazer algum retorno significativo à estratégia utilizada.

A respeito do volume negociado no mercado financeiro do Brasil, as discussões evidenciam uma estagnação desde 2008, segundo argumenta Rocha (2013). Ou seja, apesar do crescimento no volume de R\$1,2 trilhão para R\$1,5 trilhão entre 2008 e 2012, ao ajustar pelo IPCA a diferença entre os períodos se torna pouco

significativa. Rocha (2013) citou que o investidor pessoa física diminuiu a participação de 23% e 30% entre 2003 e 2009 para 17,9% em dezembro de 2012. No caso de abertura de capital das empresas, foram observadas somente três delas em 2012.

Assim como Setti (2012) apresentou sobre a falta de agentes, Rocha (2013) incrementa a análise ao definir qual o tipo de agente é faltante, ou seja, seria ausência de IPO's (*Initial Public Offer*) ou falta de investidores para explicar a estagnação da bolsa brasileira? O autor comenta que apesar das iniciativas para trazer novas companhias à bolsa, ainda é necessário a busca da participação dos investidores pessoa física; dado que apesar das aberturas de capital, caso o número de participantes seja reduzido, haverá pouca liquidez para estes papéis entrantes. Algo que as operações de alta frequência podem beneficiar, porém dificilmente trazendo retornos relacionados às expectativas dos usuários.

Uma vez que HFT está relacionada com grandes aumentos nos volumes transacionados; justifica-se uma pesquisa que possa observar o relacionamento entre volatilidade do mercado de ações e o volume das transações realizadas, principalmente, em um contexto de mercado com presença e crescimento do HFT como o Brasil. Aldridge (2010) apresenta que existe uma demanda significativa em busca de informações sobre o tema, porém pouco foi publicado para auxiliar o entendimento dos investidores.

Na literatura mais recente, podem ser citados os trabalhos de Gabaix et al (2000) e Gabaix et al (2004); os autores defendem a existência de uma teoria das "Power-Law Distributions" nas flutuações dos mercados financeiros. O modelo dos autores é baseado na hipótese de que os grandes movimentos dos mercados de ações são advindos das transações entre os grandes agentes.

Gabaix et al (2004) também citam algumas teorias alternativas, uma delas seria que o movimento dos preços refletem completamente as notícias anunciadas (*the public news based – efficient market - model*). Outro modelo seria que a física-estatística pode compreender completamente o mercado, teoria defendida por pesquisadores como Daniel et al (2003) e Farmer et al (2005) (*a mechanical "price reaction to trades" model*). Um terceiro modelo alternativo seria compreender o mercado pela correspondência entre os agentes (*random bilateral matching*), proposta por Solomon e Richmond (2001).

O tema está internacionalmente em evidência, em pesquisas realizadas pela *International Organization of Securities Commissions* (IOSCO, 2012a; IOSCO, 2012b), principal associação mundial para regulação de valores mobiliários, foram definidos quais os principais temas que deveriam orientar a atuação do órgão em 2013. Dentre eles estariam à regulação dos negócios de alta frequência, o impacto da tecnologia e a análise destas infraestruturas de mercado.

Mediante tais justificativas, o objetivo da presente pesquisa é analisar a relação entre preço e volume na bolsa de valores brasileira em momentos antes e pós-iniciação das estratégias HFT a luz das hipóteses clássicas propostas por Karpoff (1987) e Portnoy (2011). Antecipadamente, recomenda-se para futuras pesquisas incorporar análises aprofundadas dos modelos propostos por Gabaix (2000) e Farmer (2005), dado que existe um debate persistente entre os modelos propostos pelos autores. Os próximos tópicos são organizados por revisão da literatura, metodologia, discussões dos resultados e considerações finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Existe uma vasta literatura que analisa a relação entre preços e volumes nos mercados financeiros. Alguns trabalhos são datados da década de 50, o tema recebeu ênfase importante na década de 70, na formação dos mercados de opções. Nestes últimos anos, o tema voltou a ser um tema bastante discutido com o crescimento das operações de alta frequência nos E.U.A.

A forma mais "antiga" de análise é apresentada em Portnoy (2011), em que as variáveis são analisadas através do modelo de oferta e demanda. No caso da alta frequência, os *traders* que utilizam este modelo poderão alterar a demanda e provocar com que outros investidores sigam a tendência e enviem mais ordens (tanto de compra quanto de venda), este efeito em cadeia poderá alterar os preços significativamente, porém de forma completamente artificial.

A abordagem apresentada segue os conceitos mais clássicos da economia, em que o modelo seguido assume premissas bastante simplistas, sendo que a análise entre preço e volume nos mercados financeiros requer um nível maior de detalhamento. Segundo Karpoff (1987) a forma como a literatura é apresentada é dividida pelas apresentações das análises da variação absoluta ($|\Delta p|$ e ΔV , variação absoluta do preço e variação dos volumes respectivamente) e análises da variação entre Δp e ΔV . Na presente revisão de literatura esta configuração também é seguida.

2.1 Análise da variação absoluta

A ideia a respeito da análise da variação absoluta ocorre na perspectiva citada por Karpoff (1987), segundo o autor, existe um "velho provérbio" em Wall Street que segue "*It takes volume to make prices move*". Desta forma, desconsiderando o sinal, a existência de uma grande variação nos preços pode ser explicada pelo volume "anormal" transacionado naquele respectivo dia.

Neste tipo de avaliação, não se deseja responder se a grande quantidade de ordens de compra ou venda podem mover os preços, mas se existiu um volume muito acima da média que causou alguma significativa variação nos preços, tanto para alta quanto para baixa. A forma de observar estas relações é apresentada na expressão 1.

$$\begin{cases} V^- = h(|\Delta p| | \Delta p \leq 0) \\ V^+ = h(|\Delta p| | \Delta p > 0) \end{cases} \quad (1)$$

Karpoff (1987) propõe uma análise básica, em que $V^{\{s\}}$ é a relação preço-volume esperada condicionada. Deste modo, V^- é a relação preço-volume negativa de tamanho V e V^+ é a relação preço-volume positiva de tamanho V . A análise esperada por Karpoff (1987) é vista na expressão X, ou seja, espera-se uma simetria no volume transacionado dependente da variação absoluta $|\Delta p|$. Isto é, não importa se existe um grande volume em posição vendida ou comprada, a variação absoluta $|\Delta p|$ será a mesma dado variações positivas ou negativas de Δp .

$$\begin{aligned} V^- &= V^+ \\ h(|\Delta p| | \Delta p \leq 0) &= h(|\Delta p| | \Delta p > 0) \end{aligned} \quad (2)$$

Vários pesquisadores estudaram o problema, o Quadro 1 resume vários dos resultados. Como é observado no quadro, somente um estudo apresentou a simetria, nos demais existiu uma relação significativa entre volume e variação absoluta dos preços.

Como exemplo, podem ser apresentados os resultados de Ying (1966) e Crouch (1970); segundo os autores, baixo volume é normalmente acompanhado por queda nos preços, sendo que o contrário ocorre na presença de alto volume. Contrariando a análise apresentada na relação 1, em que altos volumes são acompanhados tanto por queda quanto subida de preços.

Uma análise de microestrutura para os mercados brasileiros foi apresentada em Medeiros e Doornik (2008). Para observar este primeiro caso (análise da variação absoluta) os autores seguiram um modelo proposto em Brailsford (1996), expressões 3.

$$\begin{cases} R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + u_t \\ V_t = \phi_0 + \phi_1 V_{t-1} + \phi_2 V_{t-2} + \phi_3 R_t^2 + \phi_4 D_t R_t^2 + \varepsilon_t \end{cases} \quad (3)$$

Sendo $D_t = 0$, se $R_t > 0$ e $D_t = 1$, se $R_t \leq 0$. No caso, ϕ_3 mensura a relação entre retorno e volume transacionado considerando o tamanho da relação e desconsiderando a direção; ϕ_4 mensura o grau de assimetria na relação. Segundo Medeiros e Doornik (2008), as flutuações dos preços tendem a aumentar na presença de altos volumes transacionados, isto pode ocorrer principalmente em momentos de alta no mercado (*bull market*). Deste modo, os pesquisadores buscaram encontrar a relação entre os retornos em maiores ordens e o volume transacionado, observado pela segunda equação do sistema 3.

No trabalho dos autores foi encontrado, para o caso brasileiro, que o parâmetro ϕ_3 foi positivo e significativo e ϕ_4 negativo e significativo. Diante disto, os autores encontraram resultados semelhantes ao dos pesquisadores internacionais, isto é, volume associado com aumento na volatilidade do retorno e que a relação seria assimétrica, sendo maior o volume na presença de aumento dos preços, ao contrário da hipótese de Karpoff (1987).

Quadro 1 - Análises variação $|\Delta p|$ e V

Autores	Amostra	Período	Intervalo	Relação $ \Delta p $ e V
Godfrey, Granger and Morgenstern (1964)	Mercado de ações agregados, 3 ações ordinárias	1959-62, 1951-53, 63	semanalmente, diariamente, por negócios	Não sig.
Ying (1966)	Mercado de ações agregados	1957-62	diariamente	Sig.
Crouch (1970)	Mercado de ações agregados, 3 ações ordinárias	1966-68	por hora, diariamente	Sig
Clark (1973)	Contratos futuros de algodão	1945-58	diariamente	Sig
Epps and Epps (1976)	20 ações ordinárias	Jan., 1971	por negócios	Sig
Cornell (1981)	17 contratos futuros de commodities	1968-79	diariamente	Sig
Tauchen and Pitts (1983)	Contratos futuros de T-Bill	1976-79	diariamente	Sig
Comiskey, Walking and Weeks (1984)	211 ações ordinárias	1976-79	anualmente	Sig
Harris (1986)	479 ações ordinárias	1976-77	diariamente	Sig
Jain and Joh (1986)	Mercado de ações agregados	1979-83	por hora	Sig
Richardson, Sefcik and Thompson (1987)	106 ações ordinárias	1973-82	semanalmente	Sig

Fonte: Karpoff (1987)

2.2 Análise da variação

Quanto a análise da variação, Karpoff (1987) apresenta outro “velho provérbio” em Wall Street: “*volume is relatively heavy in bull markets and light in bear markets*”. Ressaltando que “*bull markets*” são momentos de mercados em alta e “*bear markets*” momentos de mercados em baixa, diversos pesquisadores buscaram levantar o quanto esta relação seria significativa (Quadro 2).

Karpoff (1987) apresenta uma proposição de análise em 4, sendo, novamente, $V^{\{s\}}$ é a relação preço-volume esperada condicionada. Deste modo, V^- é a relação preço-volume negativa dada uma variação negativa nos preços; V^+ é a relação preço-volume positiva dada uma variação positiva nos preços.

$$\begin{cases} V^- = h(\Delta p | \Delta p \leq 0) \\ V^+ = h(\Delta p | \Delta p > 0) \\ E(V^+ | \Delta p) > E(V^- | \Delta p) \end{cases} \quad (4)$$

A partir desta perspectiva, a visão proposta por Karpoff (1987) implica numa relação assimétrica entre preço e volume, sendo a correlação entre preço e volume maior quando existem variações positivas nos preços. No Quadro 2 são visualizados alguns dos trabalhos que verificaram a relação, em 12 deles foram demonstradas evidências para a existência de relação significativa.

Algumas explicações são levantadas por Epps (1975) – baseado no comportamento dos investidores dado as condições de mercado – e Jennings, Starks e Fellingham (1981) – baseado no comportamento de investidores desinformados. Epps (1975) defende que em momentos de variações positivas de preço ocorrem maiores volumes transacionados em relação aos momentos de variações negativas. Isto tende a ocorrer porque os “*Bulls*” são mais otimistas e costumam reagir somente por informações positivas. No caso dos “*Bears*”, estes são pessimistas tendendo a agir somente nos casos de informações negativas.

Uma explicação diferenciada foi levantada por Jennings, Starks e Fellingham (1981), segundo os autores, o volume transacionado por investidores desinformados é menor quando estes recebem notícias pessimistas; caso contrário, isto é, notícias otimistas, o volume transacionado é maior. Estas explicações, segundo Karpoff (1987), receberam diversas críticas, principalmente por não considerar o grau de aprendizagem dos investidores diante das modificações dos mercados.

No caso brasileiro, Medeiros e Doornik (2008) também observaram a relação entre variação de preços e volume transacionado; no caso, os autores testaram um modelo proposto por Lee e Rui (2002), equações 5.

$$\begin{cases} R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_2 V_{t-1} + \alpha_3 R_{t-1} + u_t \\ V_t = \beta_0 + \beta_1 R_t + \beta_2 V_{t-1} + \beta_3 V_{t-2} + \varepsilon_t \end{cases} \quad (5)$$

Os autores encontraram resultados significantes nos coeficientes α_1 , α_2 , β_2 e β_3 ; deste modo, pôde-se evidenciar, no período da amostra do estudo, a existência de relação contemporânea entre variação dos preços e volume, além de outra relação defasada. No caso do volume, esta variável apresentou forte dependência temporal, dado que as defasagens de 1 e 2 períodos foram significativas. Diante disto, Medeiros e Doornik (2008) encontraram para o Brasil resultados semelhantes ao da maioria dos pesquisadores listados nos Quadros 1 e 2.

Quadro 2 – Análises variação Δp e V

Autores	Amostra	Período	Intervalo	Relação Δp e V
Granger and Morgenstern (1963)	Mercado de ações agregados, 2 ações ordinárias	1939-61	semanalmente	Não sig.
Godfrey, Granger and Morgenstern (1964)	Mercado de ações agregados, 3 ações ordinárias	1959-62, 1951-53, 63	semanalmente, diariamente, por negócios	Não sig.
Ying (1966)	Mercado de ações agregados	1957-62	diariamente	Sig.
Epps (1975)	20 NYSE bonds	Jan., 1971	por negócios	Sig.
Epps (1977)	20 ações ordinárias	Jan., 1971	por negócios, diariamente	Sig.
Hanna (1978)	20 NYSE bonds	May, 1971	por negócios	Sig.
Rogalski (1978)	10 ações ordinárias e 10 associated warrants	1968-73	mensalmente	Sig.
James and Edmister (1983)	500 ações ordinárias	1975, 77-79	diariamente	Não sig.
Comiskey, Walking and Weeks (1984)	211 ações ordinárias	1976-79	anualmente	Sig.
Smirlock and Starks (1985)	131 ações ordinárias	1981	por negócios	Sig.
Wood, McInish and Ord (1985)	946 ações ordinárias, 1138 ações ordinárias	1971-72, 1982	minutos	Não sig.
Harris (1986)	479 ações ordinárias	1976-77	diariamente	Sig.
Jain and Joh (1986)	Mercado de ações agregados	1979-83	por hora	Sig.
Richardson, Sefcik and Thompson (1987)	106 ações ordinárias	1973-82	semanalmente	Sig.

Fonte: Karpoff (1987)

3 METODOLOGIA

3.1 Dados e variáveis

Este trabalho possui o objetivo de analisar a relação entre preço e volume na bolsa de valores brasileira em momentos antes e pós-iniciação das estratégias HFT a luz das hipóteses clássicas propostas por Karpoff (1987) e Portnoy (2011).

Dado que a pesquisa no Brasil de Medeiros e Doornik (2008) compreendeu um período entre 2000 a 2005, buscou-se estabelecer um período de análise compreendido entre 2000 a 2005 para os momentos antes HFT e 2009 a 2013 para os momentos de iniciação e pós HFT. Isto foi importante para comparar os resultados no mesmo período além de avaliar a existência de possíveis mudanças.

As variáveis de análise foram apresentadas nas expressões 3 e 5 (retorno e volume) também foram incorporados a observação dos efeitos do número de negociações realizadas. Dado que o HFT se refere à rápida realocação de capital, em que as transações podem ocorrer em milésimos de segundos, torna-se possível prever que o número de negociações aumentou significativamente. Entretanto, devido a falta de agentes no mercado, este aumento no número de negociações pode não ter influenciado no volume do mercado de ações brasileiro.

Neste primeiro momento, foram observados estes efeitos no Ibovespa, numa próxima etapa torna-se importante verificar em índices como dividendos, *small caps* e energia; isto é justificado pela pergunta levantada por Karpoff (1987) “*Does the size of*

the market affect the price-volume relation?”. Os modelos gerais estimados são vistos nas expressões 6 e 7.

Os dados referentes sobre as variáveis da pesquisa coletados diretamente do sistema ECONOMÁTICA (Retorno, Volume e Número de Negociações). Assim como em Medeiros e Doornik (2008), estes valores foram deflacionados pelo IGP-DI e transformados em índice (base 100 para 03.01.2000). Para analisar os dados foi utilizado o software EViews 7.

$$\begin{cases} R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_3 R_{t-1} + u_t \\ V_t = \phi_0 + \phi_1 V_{t-1} + \phi_2 V_{t-2} + \phi_3 R_t^2 + \phi_4 D_t R_t^2 + \phi_5 N_t + \varepsilon_t \\ N_t = \gamma_0 + \gamma_1 N_{t-1} + \gamma_2 R_t + \eta_t \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} R_t = \alpha_0 + \alpha_1 V_t + \alpha_3 R_{t-1} + u_t \\ V_t = \beta_0 + \beta_1 R_t + \beta_2 V_{t-1} + \beta_3 V_{t-2} + \beta_4 N_t + \varepsilon_t \\ N_t = \gamma_0 + \gamma_1 N_{t-1} + \gamma_2 R_t + \eta_t \end{cases} \quad (7)$$

A variável N_t é o número de negociações; espera-se um aumento nesta variável no período de presença do HFT, porém o coeficiente não será significativo para explicar o volume no Brasil, dado o pequeno número de agentes. Para manter a identificação dos modelos e possibilitar a estimação dos parâmetros, restringiu-se os parâmetros $\phi_2 = 0$ em 6 $\alpha_2 = 0$ nos dois modelos quando se compara ao trabalho de Medeiros e Doornik (2008). Deste modo, verificou-se somente a relação contemporânea entre V_t e R_t ; no presente estudo, estimou-se N_t com uma defasagem e relação contemporânea com os retornos, mais estudos precisam ser observados para conhecer a relação de forma mais consistente, principalmente analisar os trabalhos de Gabaix (2000) e Farmer (2005).

Mediante as características e dinâmica das séries econômicas, seus processos geradores são próximos a passeios aleatórios (*random walk*). Deste modo, estes tipos de séries são vistas como não estacionárias, possuindo tendência estocástica e pelo menos uma raiz unitária, não servindo para estimações econômicas. Conforme apresentam Granger (1981) e Phillips (1986) uma análise de regressão com séries deste tipo apresentam o problema da regressão espúria.

Os instrumentos mais utilizados para obter a informação sobre a estacionariedade da série são os testes de raiz de unitária; na presente pesquisa foram realizadas 2 deles: Teste de Dickey e Pantulla (DP), Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF).

Os modelos foram estimados pela método de máxima verossimilhança com informação completa (*Full Information Maximum Likelihood*) utilizando para otimização o método de Marquadt. Esta metodologia foi adotada para produzir resultados comparáveis com o trabalho de Medeiros e Doornik (2008). Os parâmetros foram estimados por meio de uma função log-verossimilhança Normal; segundo Lindgren (1976), conforme o princípio da verossimilhança pode-se garantir que os estimadores são consistentes.

4 ANÁLISE DOS DADOS

Nesta etapa são discutidas as análises delineadas durante a metodologia, isto é, a divisão dos períodos antes e depois da eminência do HFT, realização dos testes de raiz unitária e estimação dos modelos propostos.

4.1 Testes de raiz unitária

Para realizar o processo de análise, foram utilizados 2 testes: o teste de Dickey e Pantulla foi realizado para avaliar a existência de 2 raízes unitárias contra somente 1 raiz unitária; o teste ADF utilizado para verificar a existência de 1 raiz unitária contra 0 raiz unitária. Nas tabelas 1 e 2 são resumidos os testes para verificar a estacionariedade da séries N_t , V_t , R_t ; para as 3 variáveis, os testes adequados de DP e ADF foram os que apresentaram a constante.

Pela observação das tabelas 1 e 2, percebe-se que no teste de Dickey-Pantulla foi rejeitada a hipótese nula de existência de 2 raízes unitárias; no caso dos testes ADF, também encontrou-se evidências para rejeitar a hipótese de existência de 1 raiz unitária. Dado que o retorno é estimado através das variações dos preços e os índices de Negociação e Volume foram gerados através das variações, esperava-se encontrar tais resultados.

Através disto, não houve necessidade de mais transformações para obter a estacionariedade nas séries. Portanto, existindo somente a necessidade de estimar os modelos.

Tabela 1 - testes raiz unitária (03.01.2000 - 29.12.2005)

Variáveis	Teste DP	t	Resultado	Teste ADF	t	Resultado
N_t	sem tend. e const.	-12,362	não existem 2 ru	com const.	-18,188	não existe 1 ru
V_t	sem tend. e const.	-12,883	não existem 2 ru	com const.	-14,191	não existe 1 ru
R_t	sem tend. e const.	-16,640	não existem 2 ru	com const.	-18,712	não existe 1 ru

Tabela 2 - testes raiz unitária (02.01.2009 - 08.07.2013)

Variáveis	Teste DP	t	Resultado	Teste ADF	t	Resultado
N_t	sem tend. e const.	-13,645	não existem 2 ru	com const.	-10,054	não existe 1 ru
V_t	sem tend. e const.	-12,662	não existem 2 ru	com const.	-9,197	não existe 1 ru
R_t	sem tend. e const.	-15,689	não existem 2 ru	com const.	-15,302	não existe 1 ru

4.2 Estimação dos modelos

O modelo 6 estudou o caso da variação absoluta, conforme apresentado na literatura, as flutuações dos preços tendem a aumentar na presença de altos volumes transacionados, sendo que o volume estaria associado com a variação absoluta dos preços. Outro ponto importante seria que a relação seria assimétrica, isto é, maior volume na presença de aumento dos preços.

O segundo ponto de análise é observar a influência da alta frequência, no presente estudo buscou-se observar através do número de negociações realizados na bolsa. Dado que no período estimado entre 2000 e 2005 não havia no Brasil operações de alta frequência, esperava-se possíveis mudanças nos coeficientes estimados no modelo 6 no período entre 2009 e 2013. Na tabela 3 são resumidos os resultados das estimações.

Tabela 3 - Estimacões modelo 6

Variáveis	Medeiros e Doornik (2008)	Estudo (período 2000 - 2005)	Estudo (período 2009 - 2013)
α_0	-0,031***	-0,552**	-1,372
V_t	0,001***	0,005**	0,013
R_{t-1}	-0,453**	-0,119***	-0,154***
ϕ_0	155,36***	120,975***	104,537***
V_{t-1}	-0,291***	-0,004	0,0001
R_t^2	3608,49***	3176,465**	951,568
$D_t R_t^2$	-6288,69***	-7497,897**	-2427,134
N_t	-	-0,137**	0,003
γ_0	-	111,109***	113,790***
N_{t-1}	-	-0,067***	-0,108***
R_t	-	156,668***	23,841

Significante a 5%. *Significante a 1%.

O modelo 6 foi estimado no mesmo período que o trabalho de Medeiros e Doornik (2008), como esperado, os resultados foram similares; ou seja, há evidências para existir associação entre variação absoluta de preços e volume, além da relação ser assimétrica. Contudo, no período com a presença do HFT, estes coeficientes apresentaram significâncias diferentes.

No caso da observação do número de negociações, observou-se uma relação negativa e significativa com o volume no período antes do HFT. Neste período da bolsa de valores brasileira, maior número de negociações aumentariam significativamente os custos de corretagem e emolumentos dos investidores; diante disto, os investidores buscariam transacionar lotes maiores e poucas vezes.

Com o advento do HFT observa-se um inversão no sinal, porém não significativa. Este resultado indica, num sistema contendo volume, retorno, retorno absoluto e negociações, um possível sinal fraco para maior utilização em andamento do HFT no Brasil, porém, ainda devagar dado que ainda o número de agentes é considerado pequeno.

Tabela 4 - Estimacões modelo 7

Variáveis	Medeiros e Doornik (2008)	Estudo (período 2000 - 2005)	Estudo (período 2009 - 2013)
α_0	-0,031***	-0,007	-0,001
V_t	0,001***	0,00001	0,0001
R_{t-1}	-0,453**	-0,466***	-0,516***
β_0	155,502***	171,147***	154,506***
R_t	144,275	-34,323	94,20
V_{t-1}	-0,292***	-0,311***	-0,331***
V_{t-2}	-0,172***	-0,042***	-0,022
N_t	-	-0,264	-0,124
γ_0	-	130,237***	134,519***
N_{t-1}	-	-0,250***	-0,310***
R_t	-	-7,273	92,20

Significante a 5%. *Significante a 1%.

O modelo 7 também foi estimado no mesmo período que o trabalho de Medeiros e Doornik (2008), como esperado, os resultados foram similares, porém a relação contemporânea, apesar do mesmo sinal, não foi significativa. Isto pode ter ocorrido devido a retirada da variável de volume defasada na equação do retorno e da imposição da variável número de negociações no sistema.

Deste modo, diante da estimacão de um sistema impondo a quantidade de negociações não se observa uma relação contemporânea entre variação dos preços e volume transacionado. Porém, a dependência temporal permaneceu em todos os

modelos e períodos, a revisão dos modelos e estimação por um Vetor de Correção de Erros deve ser necessário para rever os resultados.

No caso do número de negociações, não se observa relação contemporânea com retornos e volume de forma significativa; sendo que os sinais permaneceram negativos. Um ponto a ressaltar seria o aumento do valor do coeficiente relacionado ao N_t e relacionado ao γ_0 , indicando o aumento do número de negociações na presença das transações de alta frequência. Mediante que o coeficiente de $\beta_4 = -0,124$ não foi significativo indica que a utilização da alta frequência ainda não possui poder para influenciar o volume negociado na bolsa de valores brasileira, principalmente pelo pequeno número de agentes no mercado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença das operações por alta frequência no Brasil é algo considerado recente, somente em 2005, por exemplo, foi quando as operações se tornaram automatizadas. Pinheiro e Gomes (2008) argumentam sobre esta mudança também ter colaborado para o crescimento do volume transacionado após este evento.

Contudo, ainda pode-se prever um ritmo mais lento para as operações de alta frequência no mercado financeiro do Brasil; diante disto, a CVM (Comissão de Valores Mobiliários) aprovou diversas medidas como o uso de diversas modalidades de acesso direto ao mercado; ainda assim o ritmo de crescimento continua lento.

Autores como Aldridge (2010) apresentam sobre o crescimento de uma demanda significativa em busca de informações sobre o tema, porém pouco foi publicado para auxiliar o entendimento dos investidores. Muitos operadores possuem opiniões sobre o trabalho destes agentes, mas poucos realmente entendem como o processo funciona.

O presente trabalho buscou analisar o ambiente de microestrutura buscando observar as relações entre retornos, volume e negociações em momentos antes e pós-iniciação das estratégias HFT a luz das hipóteses clássicas propostas por Karpoff (1987). O principal foco de análise foi comparar os resultados encontrados por Medeiros e Doornik (2008) e adicionar nos modelos o número de negociações realizadas.

Deste modo, neste artigo, restringiu-se a observação das análises de variação absoluta (Modelo 6) e variação pura (Modelo 7) com volume e adicionalmente o número de negociações. Foram encontradas evidências para existir associação entre variação absoluta de preços e volume, além da relação ser assimétrica. Contudo, no período com a presença do HFT, os coeficientes não foram significativos.

No caso da observação do número de negociações, observou-se uma relação negativa e significativa com o volume no período antes do HFT, depois uma relação positiva e não significativa pós HFT. Isto pode indicar um possível sinal fraco para maior utilização em andamento do HFT no Brasil; contudo, ainda lentamente devido ao número de agentes considerado pequeno em relação aos E.U.A.

Na análise da variação pura, o sistema estimado no presente trabalho apresentou relações contemporâneas entre retornos e volumes diferentes em relação a pesquisa de Medeiros e Doornik (2008), os sinais foram os mesmos, porém as significâncias foram diferentes.

Quanto ao número de negociações encontrou-se um aumento do número de negociações; entretanto, ainda não significativo para influenciar o volume negociado na bolsa. Deste modo, no período antes do HFT os investidores enfrentavam o problema de que o maior número de negociações aumentariam significativamente os custos de corretagem e emolumentos; diante disto, buscariam transacionar lotes maiores e poucas

vezes. No período pós iniciação do HFT, pode haver um minimização destes custos e incentivo da CVM para aumento das negociações, algo que pode modificar a significância destes coeficientes em trabalhos futuros.

Uma das principais limitações da pesquisa foi a análise somente do índice Bovespa, torna-se necessário verificar estas relações em mercados diferentes; possíveis caminhos seria a análises nos índices de dividendos, *small caps* e energia elétrica. Outra limitação do artigo foi a apresentação de análises somente a respeito da variação absoluta e pura, sendo que existem uma gama de possibilidades de tratar o tema sobre *High Frequency Trading*.

O presente artigo contribuiu ao respeito de que existe uma demanda significativa em busca de informações sobre o tema, porém pouco foi publicado para auxiliar o entendimento dos investidores a respeito das operações, modelos e microestrutura de mercados. Também contribui ao propiciar posições iniciais a respeito de futura regulação dos negócios de alta frequência, impacto da tecnologia e a análise destas estruturas.

REFERÊNCIAS

ALDRIDGE, I. *High-Frequency trading: a practical guide to algorithmic strategies and trading systems*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

BRAILSFORD, T. J. *The empirical relationship between trading volume, returns and volatility*. *Accounting and Finance*. Vol. 35, n. 01, p. 89-111, 1996.

CLARK, P. K. *A subordinated stochastic process model with finite variance for speculative prices*. *Econometrica*. Vol. 41, p. 135-155, 1973.

COMISKEY, E. E.; WALKLING, R. A.; WEEKS, M. A. *Dispersion of expectations and trading volume*. *Working paper*, GA Institute of Technology, 1984.

CORNELL, B. *The relationship between volume and price variability in futures markets*. *The Journal of Futures Markets*. Vol. 01, p. 303-316, 1981.

CROUCH, R. L. *The volume of transactions and price changes on the New York stock exchange*. *Financial Analysts Journal*. Vol. 26, p. 104-109, 1970.

DANIELS, M. G.; FARMER, J. D.; GILLEMOT, L.; IORI, G.; SMITH, E. *Quantitative Model of Price Diffusion and Market Friction Based on Trading as a Mechanistic Random Process*. *Physical Review Letters*. Vol. 90, n. 10, 2003.

EPPS, T. W. *Security price changes and transaction volumes: theory and evidence*. *American Economic Review*. Vol. 65, p. 586-597, 1975.

EPPS, T. W. *The demand for brokers' services: the relation between security trading volume and transaction cost*. *Bell Journal of Economics*. Vol. 7, p. 163-194, 1976.

Farmer, J. D.; Patelli, P.; Zovko, I. I. *The predictive power of zero intelligence in financial markets*. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol. 102, n. 01, p. 2254-2259, 2004.

GABAIX, X.; GOPIKRISHNAN, P.; PLEROU, V.; STANLEY, H. E. *Statistical properties of share volume traded in financial markets. Physical Review E*. Vol. 62, n. 04, 2000.

GABAIX, X.; GOPIKRISHNAN, P.; PLEROU, V.; STANLEY, H. E. *A theory of large fluctuations in stock market activity*. Massachusetts Institute of Technology, Department of Economics, 2004.

GODFREY, M. D.; GRANGER, C. W. J.; MORGENSTERN, O. *Random walk hypothesis of stock market behavior. Kyklos*, Vol. 17, n. 0, p. 1-30, 1964.

GRANGER, C. W. J.; MORGENSTERN, O. *Spectral analysis of New York stock market prices. Kyklos*. Vol. 16, p. 1-27, 1963.

HANNA, M. *Security price changes and transaction volumes: additional evidence. American Economic Review*. Vol. 68, p. 692-695, 1978.

HARRIS, L. *Cross-Security tests of the mixture of distributions hypothesis. Journal of Financial and Quantitative Analysis*. Vol. 21, p. 39-46, 1986.

IOSCO. Regulatory Issues Raised by the Impact of Technological Changes on Market Integrity and Efficiency. Relatório Final, International Organization of Securities Comissions - IOSCO, 2012b. Disponível em: <<http://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD361.pdf>>. Acesso em: 17/04/2013.

IOSCO. Technological Challenges to Effective Market Surveillance Issues and Regulatory Tools. Relatório de Consulta, International Organization of Securities Comissions - IOSCO, 2012a. Disponível em: <<http://www.iosco.org/library/pubdocs/pdf/IOSCOPD389.pdf>>. Acesso em: 17/04/2013.

JAIN, P. C.; JOH, G. *The dependence between hourly prices and trading volume. Working Paper*. Wharton School, 1986.

JAMES, C.; EDMISTER, R. O. *The relation between common stock returns trading activity and market value. Journal of Finance*. Vol. 38, p. 1075-1086, 1983.

KARPOFF, J. M. *The relation between price changes and trading volume: a survey. The Journal of Financial and Quantitative Analysis*. Vol. 22, n. 01, 1987.

KIRILENKO, A. A.; KYLE, A. S.; SAMADI, M.; TUZUN, T. *The flash crash: the impact of high frequency trading on an electronic market. Working Paper*. Disponível em: <http://ssrn.com/abstract=1686004> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1686004>. Acesso em: 19/01/2013.

KUPFER, J. P. Utopias em alta frequência. EXAME.com. In: **ESTADÃO conteúdo**, 23 mai. 2011. Disponível em: <http://blogs.estadao.com.br/jpkupfer/utopias-em-alta-frequencia/?doing_wp_cron=1363564940.6436629295349121093750>. Acesso em: 15/05/2013.

LEE, B. S.; RUI, O. M. *The dynamic relationship between stock returns and trading volume: domestic and cross-country evidence*. **Journal of Banking and Finance**. Vol. 26, n. 01, p. 51-78, 2002.

LINDGREN, B. W. *Statistical Theory*. New York: Macmillan, 1976.

MAZZONI, C. High-frequency trading brings American whiz-kid to Brazil. **VALOR.com**. 25 out. 2012. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/international/news/2878790/high-frequency-trading-brings-american-whiz-kid-brazil#ixzz2TV7WJPfO>>. Acesso em: 16/05/2013.

MEDEIROS, O. R.; DOORNIK, B. F. N. V. The empirical relationship between stock returns, return volatility and trading volume in the Brazilian stock market. **Brazilian Business Review - BBR**. Vol. 5, n. 01, p. 01-17, 2008.

PINHEIRO, M. P.; GOMES, C. F. S. Evolução do mercado acionário: Home Broker - Estudo HSBC. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA - SEGET, 5, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SEGET, 2008.

PORTNOY, K. *High frequency trading and the stock market: a look at the effects of trade volume on stock price changes*. **The Park Place Economist**. V. 19, n.1, 2011. Disponível em: <http://digitalcommons.iwu.edu/parkplace/vol19/iss1/15>. Acesso em: 19/03/2013.

PORTUGAL, M. Investidor de alta frequência ganha seu espaço dentro da Bovespa. **EXAME.com**. In: **Acesso Direto**, 09 ago. 2010. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mercados/noticias/investidor-alta-frequencia-ganha-seu-espaco-dentro-bovespa-585958>>. Acesso em: 09/04/2013.

RICHARDSON, G.; SEFCIK, S. E.; THOMPSON, R. *A test of dividend irrelevance using volume reaction to a change in dividend policy*. **Journal of Financial Economics**. Vol. 17, p. 313-333, 1986.

ROCHA, A. A estagnação da bolsa: faltam investidores ou cias? **VALOR.com**. In: **O Estrategista**, 01 abr. 2012. Disponível em: <http://www.valor.com.br/valor-investe/o-estrategista>. Acesso em: 07/05/2013.

ROGALSKI, R. J. *The dependence of prices and volume*. **The Review of Economics and Statistics**. Vol. 36, p. 268-274, 1978.

RUTLEDGE, D. J. S. *Trading volume and price variability: new evidence on the price effects of speculation*. In: **PECK, A. E. Selected Writings on Futures Markets: Research Directions in Commodity Markets**. Chicago: Chicago Board of trade, p. 237-251, 1984.

SEC. Concept Release on Equity Market Security, 17 CFR Part 242, Release No. 34-61358. Securities and Exchange Commission, 2010.

SETTI, R. Alta frequência, ganho e risco em milissegundos. **Jornal O Globo**. 07 out. 2012. Acesso em: <<http://oglobo.globo.com/economia/alta-frequencia-ganho-risco-em-milissegundos-6326891>>. Acesso em: 18/05/2013.

SMIRLOCK, M.; STARCKS, L. *A transactions approach to testing information arrival models. Working Paper*. Washington University, 1984.

SOLOMON, S. RICHMOND, P. *Power laws of wealth, market order volumes and market returns. Physica A*. Vol. 299, p.p. 188-197, 2001.

TAUCHEN, G.; PITTS, M. *The price variability-volume relationship on speculative markets. Econometrica*. Vol. 51, p. 485-505, 1983.

TRAPEZUS. A indústria de fundos quantitativos. Relatório Trapezus Asset Management. 2011.

WOOD, R. A.; MCINISH, T. H.; ORD, J. K. *An investigation of transactions data for NYSE stocks. Journal of Finance*. Vol. 60, p. 723-739, 1985.

YAZBEK, P. Robôs para investidor individual chegam a mais seis corretoras. **EXAME.com**. 08 mai. 2012. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/acoes/noticias/robos-para-investidor-individual-chegam-a-mais-seis-corretoras>>. Acesso em: 15/05/2013.

YING, C. C. *Stock market prices and volumes of sales. Econometrica*. Vol. 34, p. 676-686, 1966.