

ANÁLISE DA RELAÇÃO RETORNO E VOLUME NO MERCADO DE CAPITAIS BRASILEIRO COM O CRESCIMENTO DAS NEGOCIAÇÕES EM ALTA FREQUÊNCIA

*ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN RETURNS AND VOLUME IN THE BRAZILIAN CAPITAL
MARKET WITH THE GROWING OF THE HIGH FREQUENCY TRADING*

Alcides Carlos de ARAÚJO
Universidade de São Paulo
alcides.carlos@usp.br

Alessandra de Ávila MONTINI
Universidade de São Paulo
amontini@usp.br

Recebido em 08/2016 – Aprovado em 12/2016

Resumo

O High Frequency Trading (HFT) se refere à rápida realocação de capital, em que as transações podem ocorrer em milésimos de segundos. Conforme Aldridge (2010) estas operações podem beneficiar o mercado financeiro por melhorar a eficiência, aumentar a liquidez e prover desenvolvimento tecnológico. O artigo analisou a relação entre retorno e volume no mercado financeiro brasileiro nos períodos antes e depois do início do HFT. Buscou-se analisar as ações dos segmentos de dividendos, Small Caps e Mid-Large Caps. As análises compreenderam o período entre os anos de 2000 a 2014. Os resultados demonstraram que a relação entre preço e volume depende das forças que direcionam o mercado, existiram diferenças na relação preço-volume conforme o tamanho do mercado e o HFT não auxiliou a manter o equilíbrio, nem dificultou a existência de operações meramente especulativas. Contrariando os apoiadores ao crescimento destas operações no mercado.

Palavras-chave: Negociações em alta frequência, Preço-Volume, Fluxo de Informações no Mercado

Abstract

The High Frequency Trading is related with fast capital reallocation, the transactions are made within a few milliseconds. According to Aldridge (2010) these operations can bring some benefits for the financial markets by improving the market efficiency, increasing the liquidity and providing technological development. This paper analyzes the relationship between returns and volume in the Brazilian financial market before and after the HFT started. The results presented analysis with different market segments as Dividends, Small Caps and Mid-Large Caps. The analysis occurred between the years 2000 to 2014. The results showed that the relationship between returns and volume depends of the strengths that driven the market, there are differences according to the size of the market, the HFT does not to help to maintain the market efficiency, nor hindered the speculative operations. These results are contrary for the supporters to the HFT.

Keywords: High Frequency Trading, Price-Volume, Market Information Flow

1 INTRODUÇÃO

Em pesquisa divulgada pelo jornal Valor Econômico, Seabra (2014) apresentou que a utilização de algoritmos sofisticados para negociação no mercado brasileiro não garantiu um retorno superior para os fundos de investimentos que utilizam tais ferramentas. Do ponto de vista estatístico, as diferenças entre os retornos dos fundos não foram significativas. Do ponto de vista financeiro, as carteiras administradas sem o uso de algoritmos apresentou retorno em torno de 5% acima das carteiras geridas com base em algoritmos.

Como explicação para estes resultados, os especialistas entrevistados apresentaram sobre o mercado brasileiro ser "pequeno, pouco profundo e muito volátil". Deste modo, mais participantes no mercado realizando operações de compra e venda em alta velocidade seria necessário para

que o volume transacionado pudesse trazer algum retorno significativo à estratégia utilizada.

Por meio destas explicações, percebe-se que o retorno das estratégias abaixo do esperado baseadas em algoritmos de alta frequência (High Frequency Trading - HFT) estão relacionadas ao baixo volume de transações na bolsa brasileira. Este fato foi constatado em Rocha (2013) que demonstrou uma estagnação desde 2008 no volume negociado ajustado pela inflação no mercado financeiro do Brasil.

Mediante a conjuntura apresentada o objetivo do presente artigo é analisar a relação entre retorno e volume no mercado financeiro brasileiro nos períodos antes e depois do início das operações de alta frequência no Brasil. Foram analisadas as séries de Ibovespa e ações dos segmentos de dividendos, Small Caps e Mid-Large Caps.

Comparar a relação entre retornos e volume em períodos antes e depois HFT em diferentes segmentos de mercados é relevante porque, conforme apresentou Mazzoni (2012), "o momento é realmente propício para o crescimento das operações de alta frequência", executivos da área expressão "The Brazilian market is in excellent position for growth and our goal is to focus on Brazil" e os principais empreendedores da área percebem que o Brasil está em estágio semelhante ao do mercado americano antes do rápido crescimento das operações HFT.

Quanto a literatura a respeito da relação entre preço e volume, as principais explicações teóricas e resultados empíricos demonstram a existência de relação positiva entre estas variáveis. No caso do mercado americano, conforme explica Portnoy (2011), por motivos de operações HFT houve um aumento significativo no número de negociações causando um crescimento no volume transacionado.

Desta forma, de acordo com os teóricos, este aumento no volume causaria variações positivas no mercado; porém Durbin (2010) e Portnoy (2011) explica que no caso deste aumento relacionado ao HFT, as variações de preços seriam resultados de decisões automatizadas e não de

uma análise dos fundamentos da empresa. Diante disto, torna-se relevante analisar estas proposições para o mercado brasileiro.

O artigo está dividido em levantamento bibliográfico a respeito da relação entre retornos e volume, descrição da metodologia e hipóteses, além da análise e discussão dos resultados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Volume e variação absoluta dos preços

Na análise da relação entre volume (V) e variação absoluta dos preços ($|\Delta p|$) busca-se verificar se a existência de uma grande variação nos preços pode ser explicada pelo volume “anormal” transacionado no respectivo dia. As principais explicações teóricas para esta relação foram apresentadas em Copeland (1976), Jennings, Starks e Fellingham (1981), Tauchen e Pitts (1983) e Pfleiderer (1984).

No artigo de Copeland (1976) o autor propõe um modelo de fluxo de informação sequencial (sequential arrival of information), o autor assume que a informação é disseminada por um único investidor no tempo, deste modo, isto implicaria em uma correlação positiva entre V e $|\Delta p|$.

No modelo de Copeland (1976), a chegada de novas informações causaria variações positivas na curva de demanda dos investidores “otimistas” e variações negativas na curva dos “pessimistas”. As negociações somente ocorreriam após cada investidor receber a informação, investidores sem informação não interfeririam no fluxo. Vendas a descoberto seriam proibidas.

Por meio do modelo apresentado por Copeland (1976), os autores Jennings, Starks e Fellingham (1981) derivaram a hipótese de que o volume seria muito acima do normal durante os períodos em que os retornos absolutos são serialmente correlacionados. Deste modo, movimentos de preços em momentos de alto volume são mais prováveis de continuarem a ocorrer de que em momentos de baixo volume

O artigo de Tauchen e Pitts (1983) também considera a existência de especulações e apresenta explicações a respeito do grau de variabilidade do fluxo de informações. Conforme os autores, a correlação entre V e $|\Delta p|$ tende a crescer à medida que a variabilidade diária do fluxo de informações aumenta.

No artigo de Pfleiderer (1984) o autor acrescenta ao modelo o efeito do ciclo de vida das negociações, este efeito é caracterizado pela existência de maior nível de negociação em determinados horários do dia.

Para verificar empiricamente estas explicações teóricas, Brailsford (1996) testou o sistema de equações apresentado na expressão 1 no mercado australiano; este modelo também foi estimado por Medeiros e Doornik (2008) no mercado brasileiro,

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

Em que, $|\Delta p|$ é R_t^2 , $D_t=0$ se $R_t>0$ e $D_t=1$ se $R_t \leq 0$. No caso, ϕ_3 mensura a relação entre retorno e volume considerando o tamanho da relação e desconsiderando a direção; ϕ_4 mensura o grau de assimetria. Nos artigos citados, o parâmetro ϕ_3 foi positivo e significativo e ϕ_4 negativo e significativo, ou seja, volume é associado com retorno absoluto e maior volume quando existe aumento dos preços.

Diversos pesquisadores buscaram estudar a relação entre variações absoluta de preços e volume negociado ($|\Delta p|$ e V), no Quadro 1 são resumidos alguns dos principais resultados.

2.2 Volume e variação dos preços

Na análise entre volume (V) e variação dos preços (Δp) busca-se verificar a existência de relação contemporânea visando explicar como estas variáveis se influenciam de forma simultânea.

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

Autores	Amostra	Período	Intervalo	Relação $ \Delta p $ e V
Clark (1973)	Contratos de algodão	1945-58	Diariamente	Sig.
Tauchen and Pitts (1983)	Contratos de T-Bill	1976-79	Diariamente	Sig.
Harris (1986)	479 ações ordinárias	1976-77	Diariamente	Sig.
Brailsford (1996)	Índice AOI	1989-1993	Diariamente	Sig.
Medeiros e Doornik (2008)	Índice Bovespa	2000-2005	Diariamente	Sig.
Mahajan e Singh (2009)	Sensex - India	1996-2006	Diariamente	Sig.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Algumas das principais explicações teóricas foram propostas nos artigos de Epps (1975), Jennings, Starks e Fellingham (1981) e Harris (1986).

De acordo com Epps (1975) o volume é maior em momentos de variações positivas de preço de que em momentos de variações negativas, implicando uma relação positiva entre V e Δp . Isto tende a ocorrer porque os investidores denominados “Bulls” são otimistas e costumam reagir com alto volume financeiro após receberem de informações positivas. No caso dos “Bears” (os pessimistas), estes tendem a agir somente nos casos de informações negativas e acabam por transacionar um volume financeiro menor em relação aos “Bulls”.

No artigo de Harris (1986) o autor apresenta um modelo baseado na hipótese de distribuição mista (Mixture of Distribution Hypothesis - MDH). Conforme formalizaram Clark (1973) e Epps e Epps (1976), esta hipótese suporta que os retornos são gerados por distribuições mistas de probabilidade baseadas no número de chegada de informações. Dado que este fluxo de informações é uma variável não observável, o volume é utilizado como variável proxy assumindo que as variações no volume são causadas por chegada de novas informações.

Diante disto, o modelo proposto em Harris (1986) propõe a existência de uma relação positiva entre

V e Δp , dado que o processo de formação de preços é condicional a proporção do número de chegadas de informação. Deste modo, a relação seria positiva porque o processo de mudança nos preços estaria subordinado ao mesmo parâmetro do processo que formaria o volume.

A relação entre V e Δp analisada por características individuais dos ativos foi verificada no artigo de Llorente et al (2002); conforme o modelo proposto, os agentes no mercado tendem a rebalancear suas carteiras (fazer hedge) ou realizar operações especulativas devido possuírem informações privadas.

Para testar empiricamente Llorente et al (2002) utilizaram como proxy para maior risco de assimetria de informações as ações de empresas de menor capitalização. Deste modo, em períodos diferentes a relação entre volume e retornos se manteria positiva devido a atividade especulativa em ambientes existindo maior grau de assimetria de informações. Sendo que a relação seria inversa em períodos diferentes devido que os investidores estariam realizando mais operações de proteção de suas carteiras.

Baseando-se nas explicações teóricas citadas, os artigos de Lee e Rui (2002), Medeiros e Doornik (2008) testaram empiricamente o relacionamento entre retorno e volume por meio do sistema de equações expresso em 2,

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

Em que, R_t é a variável observada para Δp . Por meio das análises, os artigos de Lee e Rui (2002), Medeiros e Doornik (2008) demonstraram relações significantes nos coeficientes α_1 , α_2 , β_2 e β_3 . Outros estudos foram realizados para entender a relação entre variações de preços e volume negociado, principalmente para responder se a relação seria significativa, no Quadro 2 são resumidos alguns dos principais trabalhos.

2.3 Relação preço, volume e HFT

Para definir o termo High Frequency Trading é importante diferenciá-lo dos conceitos de Electronic Trading e Algorithmic Trading, dado que existe uma confusão entre os termos, conforme apresenta Aldridge (2010). 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.

O High Frequency Trading se refere à rápida realocação de capital, em que as transações podem ocorrer em milésimos de segundos. Para que este tipo operação no mercado financeiro seja viabilizada, os 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.

Conforme Aldridge (2010), o HFT beneficiaria o mercado financeiro por melhorar a eficiência do mercado, aumentar a liquidez e prover maior desenvolvimento tecnológico e estabilização dos sistemas de mercado. Entretanto, existem os opositoristas a prática do HFT, conforme cita Durbin (2010), os investidores de HFT podem manipular o mercado movimentando grandes volumes transacionados em resposta ao fluxo de novas informações.

Resultados empíricos observados em Portnoy (2011) demonstraram não existir um impacto direto no mercado o aumento significativo de operações. Deste modo, o HFT não estaria alterando o equilíbrio no mercado, além de prover liquidez para os demais investidores.

A respeito do Brasil, conforme a carta circular

Quadro 2 – Análises variação Δp e V

Autores	Amostra	Período	Intervalo	Relação Δp e V
Harris (1986)	479 ações ordinárias	1976-77	Diariamente	Sig.
Lee e Rui	Índices S&P500, TOPIX - Toquio, FTSE - Londres	1973-1999	Diarimente	Sig.
Mestel, Gurgul, Majdosz (2003)	31 ações ordinários Mercado Austriaco	2000-2003	Diarimente	Não Sig.
Medeiros e Doornik (2008)	Índice Bovespa	2000-2005	Diariamente	Sig.
Mahajan e Singh (2009)	Índice Sensex - India	1996-2006	Diariamente	Sig.

Fonte: Elaborado pelos autores

apresentada em BM&FBOVESPA (2010), a Comissão de Valores Mobiliários (CVM) autorizou a implementação dos novos modos de acesso direto ao mercado no segmento Bovespa em 2010. Por meio deste documento, a BM&FBOVESPA estabeleceu a nova estrutura para o acesso e conexões ao sistema de negociações eletrônicas.

Mediante este documento, diversas regras foram estabelecidas, uma das mais importantes foi a definição das medidas de pré-negociação. Estas regras possuem devida importância porque definem as medidas de gerenciamento do risco e o sistema de controle para envio de ordens na bolsa de valores do Brasil.

As medidas de pré-negociação são baseadas em limites quantitativos para os tamanhos das ordens; deste modo, as ordens enviadas são primeiramente analisadas para depois serem registradas no livro de ofertas. Estas ordens podem ser rejeitadas se os limites são infringidos.

Conforme Mamona (2013), por meio destas medidas, a bolsa brasileira se tornou referência mundial em controle de risco de negociação; deste modo, o Brasil se tornou um dos mercados mais seguros do mundo para negociar na bolsa. Contudo, ainda falta na literatura verificar se o sistema de pré-negociação gerido pela Bovespa pode afetar a relação entre retorno e volume.

3 METODOLOGIA

3.1 Dados e métodos

O presente artigo possui o objetivo de analisar a relação entre retorno e volume no mercado financeiro brasileiro nos períodos antes e depois do início das operações HFT.

As estimações para o período antes HFT corresponde ao período utilizado por Medeiros e Doornik (2008), entre os anos entre 2000 a 2005. O período pós HFT entre os anos 2009 a 2014. Para evitar riscos de possíveis vieses nas estimações e interpretações dos modelos, não foi

incorporado o período entre os anos 2006 a 2008 por ter sido o período da crise financeira.

Para analisar a existência de diferentes relações em segmentos distintos, além do Ibovespa, ações dos segmentos de dividendos, Small Caps e Mid-Large Caps foram selecionadas e analisadas. Os dados de Retornos, Volume e Número de Negociações foram obtidos na plataforma de dados financeiros ECONOMATICA.

As ações selecionadas por segmentos foram baseadas nas carteiras teóricas para cada segmento formadas para o segundo quadrimestre de 2014 e que fossem negociadas desde o ano 2000. Para representar as Mid-Large Caps foi selecionada a série PETR4. Para o segmento de Dividendos, a ação VALE3. Para o segmento Small Caps foi selecionada a ação OIBR4. No Quadro 3 são resumidas as séries e os períodos analisados.

As séries de preços e volume foram ajustadas pela inflação, conforme também foi realizado em Medeiros e Doornik (2008). As séries de preços, volume e negociações foram utilizadas em forma logarítmica, os retornos foram obtidos por meio da primeira diferença dos preços em log.

Para verificar a estacionariedade das séries foram utilizados os testes de raiz unitária, três deles foram realizados: Teste de Dickey-Pantulla (DP), Teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e teste KPSS. Para o teste proposto por Dickey e Pantulla (1987), busca-se testar a hipótese nula de existência de duas raízes unitárias contra uma raiz unitária.

No teste proposto por Dickey e Fuller (1981) é testada a hipótese nula de existência de uma raiz unitária contra a hipótese alternativa de nenhuma raiz unitária (estacionariedade). O teste proposto por Kwiatkowski et al (1992) é uma análise complementar ao teste ADF, no caso, é testada a hipótese nula de não existência de raiz unitária contra a alternativa de existência de uma raiz unitária.

Quadro 3 – Séries analisadas

Séries	Período Antes HFT	n	Período Pós HFT	n
IBOVESPA	03/01/2000 - 29/12/2005	1491	02/01/2009 - 07/07/2014	1362
PETRA4 – <i>Mid-Large Cap</i>	03/01/2000 - 29/12/2005	1491	02/01/2009 - 07/07/2014	1362
VALE3 – Dividendos	01/02/2002 - 29/12/2005	976	02/01/2009 - 07/07/2014	1362
OIBR4 – <i>Small Cap</i>	03/01/2000 - 29/12/2005	1491	02/01/2009 - 07/03/2014	1281

Fonte: elaborado pelos autores.

3.2 Modelos e hipóteses

Por meio da revisão da literatura são propostos os sistemas de equações 3 e 4 para analisar a relação V e Δp ,

Em que, r_t é a taxa de retorno medida pela diferença entre os log preços, $[[dv]]_t$ é a variação do volume transacionado em log, $[[dn]]_t$ é a variação do número de negociações em log e d_2 é uma variável dummy, sendo $d_2=0$ para o período antes HFT e $d_2=1$ para o período

pós HFT. Deste modo, os parâmetros estimados no sistema 3 foram obtidos utilizando as amostras antes e pós HFT separadamente, enquanto que o sistema 4 utilizou todo o período.

Por meio da revisão da literatura são propostos os sistemas de equações 5 e 6 para analisar a relação V e $|\Delta p|$,

$$\begin{cases} r_t = \alpha_1 + \alpha_2 dv_t + \alpha_3 r_{t-1} \\ dv_t = \phi_1 + \phi_2 r_t + \phi_3 dn_t + \phi_4 dn_{t-1} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} r_t = \alpha_1 + \alpha_2 dv_t + \alpha_3 r_{t-1} \\ dv_t = \theta_1 + \theta_2 r_t + \theta_3 dn_t + \theta_4 d_2 + \theta_5 dn_t \cdot d_2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} r_t = \alpha_1 + \alpha_2 dv_t + \alpha_3 r_{t-1} \\ dv_t = \beta_1 + \beta_2 dn_t + \beta_3 dn_{t-1} + \beta_4 |r_t| + \beta_5 |r_t| \cdot d_1 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} r_t = \alpha_1 + \alpha_2 dv_t + \alpha_3 r_{t-1} \\ dv_t = \gamma_1 + \gamma_2 dn_t + \gamma_3 |r_t| + \gamma_4 d_1 + \gamma_5 d_2 + \gamma_6 |r_t| \cdot d_1 + \gamma_7 |r_t| \cdot d_2 + \dots \\ \dots + \gamma_8 dn_t \cdot d_2 + \gamma_9 d_1 \cdot d_2 + \gamma_{10} |r_t| \cdot d_1 \cdot d_2 \end{cases} \quad (6)$$

Quadro 4 – Hipóteses testadas

Descrição	Hipótese	Modelo	Coefficiente
$H0_a$	Existe relação entre V e $ \Delta p $ e a relação é positiva em todos os períodos.	Expressão 5 e 6	β_4 e γ_3
$H0_b$	Existe relação entre V e Δp e a relação é positiva em todos os períodos.	Expressão 3, 4, 5, 6	α_2
$H0_c$	Empresas de menor capitalização possui sinal entre V e $ \Delta p $ diferente das demais quando comparados os períodos antes e pós HFT.	Expressão 5 e 6	$\beta_4, \beta_5, \gamma_3, \gamma_6$ e γ_7
$H0_d$	Empresas de menor capitalização possui sinal entre V e Δp diferente das demais quando comparados os períodos antes e pós HFT.	Expressão 3, 4, 5 e 6	α_2
$H0_e$	Existe relação significativa entre V e $ \Delta p $ e o volume transacionado é maior quando os retornos são positivos.	Expressão 5 e 6	γ_6, γ_9 e γ_{10}
$H0_f$	Existe relação significativa entre volume e número de negociações e a relação é positiva em todos os períodos.	Expressão 3, 4, 5 e 6	$\phi_3, \theta_3, \beta_2$ e γ_2
$H0_g$	Existe relação entre volume e número de negociações e o impacto do número de negociações no volume é maior no período antes HFT.	Expressão 3, 4, 5 e 6	θ_5 e γ_8

Fonte: elaborado pelos autores.

em que, $|r_t|$ é o retorno absoluto e d_1 é uma variável dummy, sendo $d_1=0$ para os retornos acima de zero e $d_1=1$ para os retornos iguais ou menores que zero. Deste modo, os parâmetros estimados no sistema 5 foram obtidos utilizando as amostras antes e pós HFT separadamente, enquanto que o sistema 6 utilizou todo o período.

Mediante a revisão de literatura e os modelos propostos para estimação, as hipóteses a respeito da relação entre retorno, volume, número de negociações e HFT foram testadas. No Quadro 4 todas são apresentadas, além de detalhes sobre qual sistema de equação e coeficiente foram observados.

4 ANÁLISE DOS DADOS

4.1 Análise descritiva e testes de raiz unitária

Na Tabela 1 são apresentadas as médias anuais de negociações e volume transacionados para cada série nos respectivos períodos antes e pós HFT. Observa-se que as séries das ações de empresas apresentavam baixo número de

negociações e volume transacionado no período antes HFT, estes valores cresceram significativamente no período pós HFT.

Como razões para este crescimento observa-se o fim do pregão viva-voz, maior utilização dos chamados home-brokers, além da crescente utilização das negociações por algoritmos.

Na Tabela 2 são resumidos os resultados dos testes Dickey-Pantulla (DP), Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e KPSS. Em relação ao teste DP, a hipótese nula de existência de 2 raízes unitárias foi rejeitada para todas as séries. No caso dos testes ADF, a hipótese nula de existência de 1 raiz unitária foi rejeitada em todas as séries, contudo, no caso do teste KPSS, as séries para volume e negociações apresentaram existência de raiz unitária. Deste modo, as séries utilizadas para análise foram de retornos, primeira diferença de negociações e primeira diferença de volume, dado que foram estacionárias em todos os testes.

Tabela 1 – Negociações e Volume transacionado por ano

Período	Ano	IBOVESPA		PETR4 – <i>Large C.</i>		VALE3 - <i>Dividendos</i>		OIBR4 – <i>Small C.</i>	
		<i>Neg.</i>	<i>Vol.</i>	<i>Neg.</i>	<i>Vol.</i>	<i>Neg.</i>	<i>Vol.</i>	<i>Neg.</i>	<i>Vol.</i>
Antes HFT	2000	13.815	606.572	623	55.225	14	1.139	138	5.850
	2001	14.286	443.002	730	49.380	17	2.268	353	9.841
	2002	14.919	364.766	814	39.363	76	9.212	305	7.534
	2003	19.502	411.541	966	40.210	140	6.516	415	9.099
	2004	27.350	579.285	1.394	57.693	239	8.425	602	9.644
	2005	32.773	718.910	2.009	70.412	468	18.049	843	9.209
Pós HFT	2009	253.135	2.050.320	17.418	271.592	5.163	64.966	1.220	3.751
	2010	329.838	2.382.353	20.207	270.295	5.485	65.040	1.493	4.620
	2011	459.483	2.191.794	22.565	193.600	8.200	69.601	2.132	4.120
	2012	636.060	2.271.854	31.863	190.444	11.110	67.149	7.604	14.307
	2013	758.422	2.269.985	32.719	184.642	11.399	54.883	12.635	16.613
	2014*	743.526	1.897.958	38.095	176.422	11.938	45.365	13.810	25.324

*Dados até Julho 2014.

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 2 – Resumo testes raiz unitária

Testes	IBOVESPA			PETR4			VALE3			OIBR4		
	<i>DP</i>	<i>ADF</i>	<i>KPSS</i>	<i>DP</i>	<i>ADF</i>	<i>KPSS</i>	<i>DP</i>	<i>ADF</i>	<i>KPSS</i>	<i>DP</i>	<i>ADF</i>	<i>KPSS</i>
n_t	não rej.	rej.	rej.	não rej.	rej.	rej.	não rej.	rej.	rej.	não rej.	rej.	rej.
v_t	não rej.	rej.	rej.	não rej.	rej.	rej.	não rej.	rej.	rej.	não rej.	rej.	rej.
dn_t	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.
dv_t	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.
r_t	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.	não rej.	rej.	não rej.

Fonte: dados da pesquisa.

4.2 Estimação dos modelos

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das estimações dos sistemas de equações 3 e 4. As equações do sistema 3 foram estimadas separadamente nas séries contendo os períodos antes e pós HFT. As equações do sistema 4 foram estimadas utilizando toda a amostra, com o objetivo de comparar os períodos.

Buscou-se estimar os modelos em mercados diferentes, com o objetivo de expandir os resultados apresentados em Medeiros e Doornik (2008) e Araújo e Montini (2013), em que somente o índice Bovespa foi utilizado. Na Tabela 3 pode-se observar cada mercado sendo representado por uma ação respectiva.

Verificou-se que existiu uma relação significante entre retorno e variação do volume transacionado, coeficiente α_2 ; porém esta relação somente foi observada na série do IBOVESPA, VALE3 e OIBR4. Quanto ao sinal, em todas as relações que foram significantes o sinal foi positivo, indicando que variações positivas nos preços estão associadas a variações positivas no volume. Este resultado somente não se manteve para a série do IBOVESPA no período pós HFT.

A principal importância de estimar os parâmetros nos sistemas 3 e 4 foi para verificar a relação entre o volume negociado (dv_t) e o número de negociações (dn_t). Pela observação das estimações, verificou-se a relação positiva e

significante destas variáveis em todas as séries analisadas tanto no período antes e pós HFT.

Por meio do coeficiente θ_5 foi possível verificar se o impacto do número de negociações no volume transacionado foi maior no período antes ou pós HFT. Observa-se que houve uma diferença significativa nos períodos analisados; no caso da série do índice BOVESPA o impacto do número de negociações no volume transacionado foi maior no período pós HFT.

Nas demais séries, maiores variações do número de negociações estão associadas a maiores variações do volume transacionado no período antes HFT. Este comportamento é explicado dado que no período antes HFT o número de negociações era significativamente baixo, por exemplo, a ação PETR4 para o ano 2000 teve uma média de 623 negociações diárias. Deste modo, uma pequena variação para em torno de 1500 negociações diárias aumentavam significativamente o volume transacionado.

equações do sistema 5 foram estimadas nas séries que compreenderam os períodos antes e pós HFT. As equações do sistema 6 foram estimadas utilizando toda a amostra, isto foi importante por possibilitar a comparação dos períodos.

Conforme os objetivos apresentados buscou-se estimar os modelos em mercados diferentes, isto foi importante dado que nas pesquisas de Medeiros e Doornik (2008) somente o índice Bovespa foi utilizado. Deste modo, na Tabela 4 cada ativo representa um mercado específico.

Verificou-se que existiu uma relação significativa entre retorno e variação do volume transacionado, coeficiente α_2 . No período pós HFT a relação demonstrou-se negativa no índice Bovespa, PETR4 e VALE3, este resultado é explicado devido que durante o período pós HFT o volume transacionado na bolsa corrigido pela inflação permaneceu estagnado, resultado apresentado em Rocha (2013), e os operadores e

Tabela 3 - Análise sistemas de equações 3 e 4

Variáveis	IBOVESPA			PETR4 - Large Caps			VALE3 - Dividendos			OIBR4 - Small Caps		
	Antes HFT	Pós HFT	Todo Per.	Antes HFT	Pós HFT	Todo Per.	Antes HFT	Pós HFT	Todo Per.	Antes HFT	Pós HFT	Todo Per.
α_1	0,000035	-0,000001	0,000038	0,0005	-0,0003	0,0002	0,00129	-0,00003	0,00060	-0,0004	-0,0008	-0,0007
d_{v_t}	0,006***	-0,002***	0,003***	0,001	-0,001	0,0002	0,002**	-0,002	0,0004	0,009***	0,0003	0,004***
r_{t-1}	0,0363	-0,0322	0,0120	0,036***	-0,032	0,012***	0,082***	0,023	0,050***	0,070***	0,010	0,029**
β_1	0,00001	-0,00083	0,00034	-0,0004	-0,0080	-0,0018	0,0016	-0,0010	0,0001	-0,0040	0,0001	-0,0048
r_t	-18,18	-0,10	-31,35	-1,293	-24,38	1,173	-1,67	-13,61	-4,78	-7,51	0,91	-5,51
dn_t	1,210***	1,142***	1,166***	1,042***	0,871***	1,043***	1,183***	0,921***	1,164***	1,233***	0,874***	1,161***
dn_{t-1}	0,063***	-0,004	-	-0,008	0,012	-	0,044	0,022	-	0,036	-0,026	-
d_3	-	-	-0,0003	-	-	0,001	-	-	0,003	-	-	0,0003
$dn_t \cdot d_2$	-	-	0,078***	-	-	-0,165***	-	-	-0,223***	-	-	-0,254***

*Sig. 10%. **Sig. 5%. *Sig. 1%.

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 4 - Análise sistemas de equações 5 e 6

Variáveis	IBOVESPA			PETR4 - Large Caps			VALE3 - Dividendos			OIBR4 - Small Caps		
	Antes HFT	Pós HFT	Todo Per.	Antes HFT	Pós HFT	Todo Per.	Antes HFT	Pós HFT	Todo Per.	Antes HFT	Pós HFT	Todo Per.
α_1	0,00004	0,00002	0,000003	0,0006	-0,0005	0,0002	0,0006	-0,0001	0,0004	-0,001	-0,002	-0,001
d_{v_t}	0,0923***	-0,117***	0,536***	0,331***	-0,515***	0,003***	0,284***	-0,254***	0,465***	0,128***	0,611***	0,391***
r_{t-1}	-0,01332	-0,00001	-0,00005	0,033***	-0,011	0,056***	0,019	-0,005	0,002	0,021	-0,001	0,003
β_1	-0,00600	0,00370	0,01454	0,0005	0,0002	0,014	-0,0002	-0,0017	0,019	0,022	0,003	0,044**
dn_t	0,259***	0,187***	0,0003	0,020***	0,016***	1,054***	0,004	0,030***	0,003*	0,101***	0,002	0,003
dn_{t-1}	0,024***	0,0006	-	0,005***	0,0003	-	0,004	0,003	-	0,029***	-0,002	-
$ r_t $	232,88***	-205,57***	37,53***	55,02***	-40,32***	13,44***	76,07***	-67,46***	35,72***	77,31***	17,13***	19,56***
d_1	-	-	-0,031***	-	-	-0,020	-	-	-0,036***	-	-	-0,069***
d_2	-	-	-0,002***	-	-	-0,019	-	-	0,001	-	-	-0,007***
$ r_t \cdot d_1$	-415,01***	376,76***	-68,30***	-116,42***	76,25***	-53,74***	-160,49***	143,96***	-75,43***	-222,30***	-39,84***	-56,19***
$ r_t \cdot d_2$	-	-	0,234	-	-	22,40	-	-	-7,05***	-	-	1,405***
$dn_t \cdot d_2$	-	-	0,002	-	-	-0,203***	-	-	-0,002	-	-	-0,002
$d_1 \cdot d_3$	-	-	0,006***	-	-	-0,004	-	-	-0,004**	-	-	0,004*
$ r_t \cdot d_1 \cdot d_2$	-	-	-4,739***	-	-	59,35***	-	-	14,17***	-	-	7,578***

*Sig. 10%. **Sig. 5%. *Sig. 1%.

Fonte: dados da pesquisa.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das estimações dos sistemas de equações 5 e 6. As

algoritmos buscaram zerar posições compradas,

acionar ordens stop de venda e realizar operações de venda a descoberto.

Observa-se que, assim como nos artigos de Medeiros e Doornik (2008), o retorno absoluto teve relação significativa com o volume transacionado da série do índice Bovespa. O presente artigo estende os resultados ao apresentar que a relação também foi significativa em outros mercados, contudo o sinal da relação foi diferente quanto para os períodos tanto para os mercados.

Quanto aos períodos, na série pós HFT a relação entre volume e retorno absoluto foi negativa indicando novamente a maior utilização de operações de venda a descoberto. Quanto aos mercados, este resultado foi observado para o índice Bovespa e ações altamente negociadas, como PETR4 e VALE3; para o caso da ação small cap, a relação permaneceu positiva em todos os períodos.

O coeficiente γ_7 mensura o grau de assimetria na relação entre volume e retorno absoluto, nos artigos de Medeiros e Doornik (2008) e Araújo e Montini (2013) foi observado que a relação seria assimétrica sendo maior o volume na presença de aumento dos preços, resultado observado quando o coeficiente é negativo. No presente artigo, estes resultados ocorreram no período antes HFT e na utilização de todo o período. No caso da análise do período específico pós HFT, a relação permaneceu assimétrica, porém o volume transacionado foi maior quando os preços caíram.

Por meio do coeficiente γ_{10} foi possível verificar se foram as variações positivas ou negativas nos preços que apresentaram maior impacto no volume negociado em todo o período. Diante disto, observa-se o valor negativo do sinal, demonstrando que os dias contendo maior volume negociado estavam associados a variações positivas nos preços, apesar da maior utilização de operações de venda a descoberto no período pós HFT.

4.3 Discussão dos resultados

Por meio das estimações realizadas, pode-se discutir as hipóteses apresentadas no Quadro 4. A hipótese $[H0]_a$ foi baseada na afirmação de Copeland (1976), isto é, correlação positiva entre V e $|\Delta p|$, dado que operações de vendas a descoberto fossem proibidas. Acreditava-se que pela presença do HFT esta hipótese seria rejeitada, dado que rápidas operações de compra/venda ou venda a descoberto/recompra seriam realizadas, aumentando o volume transacionado, mas não necessariamente fazendo o valor dos preços subirem.

Como resultado, rejeitou-se esta hipótese, alguns períodos apresentaram relação negativa, demonstrando que esta hipótese é somente plausível quando vendas a descoberto são proibidas. A relação foi negativa no período pós HFT.

A hipótese $[H0]_b$ foi baseada nos modelos apresentados por Epps (1975), Jennings, Starks e Fellingham (1981) e Harris (1986). Acreditava-se que pela presença do HFT esta hipótese seria rejeitada, dado que operações HFT possuem custo menor em relação a operações normais na bolsa, sendo que em operações day trade as posições compradas e vendidas possuem custos semelhantes.

Como resultado, rejeitou-se a hipótese, alguns períodos apresentaram relação negativa, demonstrando que esta hipótese é somente plausível quando vendas a descoberto são proibidas. A relação foi negativa no período pós HFT, em que, possivelmente, houve um aumento nas operações day trade, nestas operações tanto posições compradas quanto vendidas possuem custos iguais. A posição vendida possui custo maior quando o investidor mantém a operação por mais de um dia.

A hipótese $[H0]_c$ foi baseada na pergunta de Karpoff (1987) e na hipótese de Llorente et al (2002). Acreditava-se que pela presença do HFT as operações especulativas seriam dificultadas, dado que, conforme apresenta Aldridge (2010), o HFT beneficiaria o mercado financeiro por

melhorar a eficiência do mercado. Deste modo, esperava-se que a hipótese fosse rejeitada.

Contudo, as análises evidenciaram a não rejeição da hipótese, a série da ação de menor capitalização manteve o sinal positivo em períodos diferentes. Diante disto, responde-se a pergunta de Karpoff (1987) e evidencia a afirmação de Llorente et al (2002), ou seja, este tipo de ação está relacionada a operações com objetivos especulativos. Deste modo, no período estudado, a presença do HFT não auxiliou na melhora da eficiência do mercado.

A hipótese H_0_d também foi baseada nos estudos de Karpoff (1987) e Llorente et al (2002), neste caso, a relação contemporânea entre retornos e volume foi observada. Novamente acreditava-se que o HFT beneficiaria o mercado e dificultaria as operações especulativas.

Como resultado, não rejeitou a hipótese, a série da ação de menor capitalização manteve o sinal positivo em períodos diferentes. Deste modo, no período estudado, a presença do HFT não auxiliou na melhora da eficiência do mercado. Este resultado pode ser explicado ao observar que na Bovespa existem as medidas de pré-negociação baseadas em limites quantitativos; deste modo, as operações não podem alterar o estado natural de certas ações, como por exemplo, as ações de baixa capitalização, que são observadas como opções especulativas.

A hipótese H_0_e foi baseada no modelo de Jennings, Starks e Fellingham (1981). Acreditava-se que pela presença do HFT esta hipótese seria rejeitada, dado que operações HFT possuem custo menor em relação as demais, sendo que operações em day trade as posições compradas e vendidas possuem custos semelhantes.

Como resultado, encontrou-se evidência para rejeitar a hipótese dado que alguns períodos apresentaram relação negativa. A relação foi negativa no período pós HFT, em que, possivelmente, houve um aumento nas operações day trade, nestas operações tanto posições compradas quanto posições vendidas possuem custos iguais.

As hipóteses H_0_f e H_0_g foram baseadas no modelo de Tauchen e Pitts (1983). Quanto a hipótese H_0_f , não foram encontradas evidências para rejeitá-la; apesar de nem todos os períodos a relação ter sido significativa, o sinal manteve-se positivo em todas as análises. Em relação a hipótese H_0_g , os resultados foram diferentes quando são analisadas as ações e o IBOVESPA.

Para o índice Bovespa, a hipótese foi rejeitada, deste modo o volume negociado está sendo mais impactado pelo número de negociações no período pós HFT. Isto demonstra que muitas ações pertencentes ao índice começaram a sofrer mais influencia da movimentação de grandes volumes transacionados, porém existe o risco de todo este volume ser resultado de decisões especulativas automatizadas, conforme cita Durbin (2010).

Para o caso das ações, este comportamento pode ser explicado dado que no período antes HFT o número de negociações era significativamente baixo. Deste modo, uma pequena variação diária aumentava significativamente o volume transacionado. Para estas ações específicas, o HFT parece ter beneficiado as negociações, dado que aumentou a liquidez, conforme cita Aldridge (2010). Além de aumentar a liquidez, mediante que a Bovespa utiliza medidas de pré-negociação baseadas em limites quantitativos para os tamanhos das ordens, as operações não alteram o estado existente do mercado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi apresentar uma análise da relação entre retorno, volume, número de negociações e HFT no mercado brasileiro. Buscou-se estender os resultados preliminares do artigo de Araújo e Montini (2013) analisando, além do índice Bovespa, ações dos segmentos de Dividendos, Small Caps e Mid-Large Caps.

O artigo contribui ao elucidar respostas no mercado brasileiro para indagações como: o tamanho do mercado afeta a relação preço-

volume? Quais impactos no mercado as operações HFT podem causar? O HFT dificultaria operações especulativas em ações de menor capitalização?

Ao todo, sete hipóteses foram testadas, os resultados demonstraram que a relação entre preço e volume depende das forças que direcionam o mercado, existiram diferenças na relação preço-volume conforme o tamanho do mercado e o HFT, apesar de beneficiar o mercado com liquidez, não auxiliou a manter o equilíbrio, nem dificultou a existência de operações meramente especulativas.

Como limitações, as estimações utilizaram dados diários e analisou o impacto do HFT na relação preço-volume no longo prazo. Contudo, uma vez que as operações podem ocorrer em milésimos de segundos, uma análise das operações negócio a negócio complementariam os resultados apresentando testes para o curtíssimo prazo e provendo melhor entendimento para a microestrutura de mercado. Deste modo, em pesquisas futuras, analisar a relação preço-volume com dados de negociações em alta frequência seria relevante.

O artigo comparou os resultados das estimações em mercados diferentes, no caso, uma ação mais representativa de cada mercado foi selecionada. Em estudos futuros, uma análise mais abrangente contendo mais mercados e uma seleção maior de número de ativos reforçaria os resultados apresentados.

REFERÊNCIAS

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

BM&FBOVESPA. *Access to the Electronic Trading System – Implementation of DMA Models 2, 3 & 4 and New Connection Structures*. CIRCULAR LETTER. 2010. Disponível em: <http://www.bmf.com.br/bmfbovespa/pages/bole-tim2/informes/2010/agosto/CL030-2010-DP.pdf>. Acesso em 20 mar. 2014.

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

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

COPELAND, T. E. A model of asset trading under the assumption of sequential information arrival. *Journal of Finance*, v. 31, p. 1149-1168, 1976.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, v. 49, n. 4, p. 1057-1072, 1981.

DICKEY, D. A.; PANTULLA, S. Determining the order of differencing in autoregressive processes. *Journal of Business & Economic Statistics*, v. 5, n. 4, p. 455-461, 1987.

DURBIN, M. *All about high-frequency trading*. New York: McGraw-Hill, 2010.

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

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

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

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. *Journal of Econometrics*, v. 54, p. 159-178, 1992.

JENNINGS, R. H.; STARKS, L. T.; FELLINGHAM, J. C. An equilibrium model of asset trading with sequential information arrival. *Journal of Finance*, v. 36, p. 143-161, 1981.

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*, v. 26, n. 01, p. 51-78, 2002.

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

LLORENTE, G.; MICHAELY, R.; SAAR, G.; WANG, J. Dynamic Volume-Return Relation of Individual Stocks. *The Review of Financial Studies*, v. 15, n. 04. p. 1005-1047, 2002.

MAHAJAN, S.; SINGH, B. The empirical investigation of relationship between return, volume and volatility dynamics in Indian stock market. *Eurasian Journal of Business and Economics*, v. 02, n. 04, p. 113-137, 2009.

MAMONA, K. PUMA Trading System: BM&FBOVESPA celebrates a month of BOVESPA segment transactions at the new platform. *EXAME.com*. 13 mai. 2013. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/mercados/noticias/problemas-da-oi-se-transformam-em-graficos-assustadores>>. Acesso em: 15/05/2014.

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*, v. 05, n. 01, p. 01-17, 2008.

MESTEL, R.; GURGUL, H.; MAJDOSZ, P. The empirical relationship between stock returns, return volatility and trading volume on the Austrian stock market. Working paper. University of Graz, Institute of Banking and Finance, 2003.

PFLEIDERER, P. The volume of trade and variability of prices: a framework for analysis in noisy rational expectations equilibria. Working Paper. Stanford University, 1984.

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. 01, 2011.

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.

SEABRA, L. Homem x Máquina. *VALOR.com*. 10 mar., 2014. Disponível em: <http://www.valor.com.br/financas/3455242/homem-x-maquina#ixzz2vaN82tBT>. Acesso em: 16/04/2014.

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