



Franciane Lovati Dal'Col

**Fluxo de informação assimétrico
no mercado brasileiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Física.

Orientador: Profa. Rosane Riera Freire

Rio de Janeiro
Maio de 2013



Franciane Lovati Dal'Col

Fluxo de informação assimétrico no mercado brasileiro

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Física do Departamento de Física do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Profa. Rosane Riera Freire

Orientadora

Departamento de Física – PUC-Rio

Prof. Renato Vicente

USP

Prof. Tara Keshar Nanda Baidya

Universidade do Grande Rio

José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 15 de maio de 2013.

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Franciane Lovati Dal'Col

Graduou-se em física na Uerj (Universidade do Estado do Rio de Janeiro) em 2010.

Ficha Catalográfica

Dal'Col, Franciane Lovati

Fluxo de informação assimétrico no mercado brasileiro / Franciane Lovati Dal'Col ; orientador: Rosane Riera Freire. – 2013.

136 f. : il.(color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Física, 2013.

Inclui bibliografia

1. Física – Teses. 2. Volatilidade. 3. Processos estocásticos. 4. Econofísica. I. Freire, Rosane Riera. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Física. III. Título.

CDD: 530

Para meus pais, Neves e Juvenal,
com toda minha gratidão.

Agradecimentos

A Deus, por ter me iluminado e me ajudado a cumprir esta etapa tão importante.

À minha orientadora, profa. Rosane Riera Freire, pela dedicação ao me orientar e também pela paciência. Sua análise criteriosa e exigente foi essencial para que eu realizasse um bom trabalho.

À minha família, por me apoiar na decisão de fazer física e posteriormente de fazer o curso de mestrado. E principalmente, por nunca me deixar desistir.

À Giza, pela diligência em resolver as questões burocráticas envolvidas no curso de mestrado, o que muito contribuiu para o bom andamento deste.

Aos amigos do curso de mestrado, pelas discussões e trocas de idéias, que tanto me ajudaram a formar a ideia inicial dessa dissertação. E também aos amigos de fora do curso, que me apoiaram em todos os momentos.

Ao meu ex-chefe, Cássio Leite Vieira, por ter me apresentado alguns artigos que relacionavam física e economia. A partir desse contato inicial com as ideias de econofísica que decidi me especializar na área.

A CNPq, FAPERJ, CAPES e PUC-Rio pelo apoio financeiro através das bolsas que me foram concedidas.

Resumo

Dal Col, Franciane Lovati; Freire, Rosane Riera. **Fluxo de informação assimétrico no mercado brasileiro**. Rio de Janeiro, 2013. 136p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Medida da magnitude de flutuação dos preços, a volatilidade é uma métrica importante para definir as estratégias de negociação e de controle de risco mais adequadas. Esse trabalho desenvolve um modelo de volatilidade fenomenológico baseado na rede microscópica heterogênea na qual os agentes especuladores respondem à chegada das informações. A dinâmica das características da volatilidade, modeladas por processos estocásticos, é governada por assimetrias no fluxo de informação através de diferentes resoluções temporais de análise. Entre essas características, destacamos os fatos estilizados de memória longa, clustering e efeito de alavancagem. Essas propostas são elucidadas através da análise empírica das séries de preço de um minuto do índice Ibovespa no período de dez anos.

Palavras-chave

Volatilidade; processos estocásticos; Econofísica.

Abstract

Dal Col, Franciane Lovati; Freire, Rosane Riera (Advisor). **Asymmetric flux of information in the Brazilian market**. Rio de Janeiro, 2013. 136p. MSc Dissertation – Departamento de Física, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Volatility, as a metric for price uncertainty, is an important quantity for suitable trade strategy and risk control. This work develops a phenomenological volatility model based on a heterogeneous microstructure framework in which the market agents of speculative activity respond to information arrivals. The dynamic features of volatility, modeled as a stochastic process, is governed by asymmetries in the informational flow across different time resolutions. Among these features, we highlight the stylized facts of long memory, clustering and leverage effect. These proposals are contrasted with our empirical analysis of a ten-year time series of one-minute Brazilian market Index.

Keywords

Volatility; stochastic process; Econophysics.

Sumário

1	Introdução	20
1.1	Estrutura dos capítulos	23
2	Modelagem do mercado financeiro	24
2.1	Origem da volatilidade dos preços	24
2.2	Grandezas financeiras e modelagem	26
2.2.1	Modelo padrão para a evolução temporal dos preços	28
2.2.2	Mercado real	31
2.3	Estimadores de volatilidade	33
2.3.1	Módulo do retorno	35
2.3.2	Média e desvio padrão móveis dos módulos do retorno	36
2.3.3	Desvio padrão com alisamento exponencial	37
2.3.4	Desvio padrão intradiário reescalado	38
2.3.5	Volatilidade histórica	40
2.4	Fatos estilizados da volatilidade	41
2.4.1	Clustering e memória longa	42
2.5	Leis de escala	51
3	Assimetria da volatilidade no domínio do tempo e da frequência	55
3.1	Hipótese do mercado heterogêneo	55
3.2	Memória longa e clustering	57
3.3	Dependência vertical assimétrica	59

3.4 Assimetria no fluxo de informação entre volatilidades de longo e curto prazo	63
3.5 Fluxo de informação através das escalas temporais: cascata multiplicativa do mercado	68
4 Modelos estocásticos de volatilidade	76
4.1 Modelos de reversão a média	76
4.2 Modelo OU Exponencial	82
4.3 Modelo de Heston	84
4.4 Modelo Harmônico com ruído multiplicativo linear	86
4.5 Modelo de Hull&White	88
4.6 Modelo com estrutura aditiva multiplicativa	89
4.6.1 Modelo AM quadrático	91
4.7 Comparação entre os modelos	94
5 Efeito de alavancagem: fenômeno da volatilidade assimétrica	98
5.1 Princípios teóricos	98
5.2 Efeito leverage de índices de mercado	101
5.3 Modelagem matemática do efeito leverage	109
6 Conclusão	113
7 Referências bibliográficas	117
Apêndice 1	118

Apêndice 2	121
Apêndice 3	123
Apêndice 4	125
Apêndice 5	127
Apêndice 6	128
Apêndice 7	130
Apêndice 8	135

Lista de Figuras

- Figura 2.2.1 - Série de preços diária do IBOVESPA não deflacionado (1994-2012). É possível observar que o comportamento da série é bastante irregular, apresentando tendências em determinados períodos, com crescimento no longo prazo. 25
- Figura 2.2.2 - Série de retornos logarítmicos diários do IBOVESPA entre 02/1995 e 11/2012. 27
- Figura 2.2.3 - Evolução da distribuição de retornos normalizados (x/σ) do IBOVESPA [05]. Escalas temporais variando de $\tau=30$ segundos (curva superior) até $\tau=128$ dias (curva inferior). As distribuições foram transladadas para melhor visualização. 31
- Figura 2.3.1 - Volatilidade de 5 minutos segundo a definição da eq. 2.3.1 ao longo de um dia de pregão. 38
- Figura 2.3.2 - Autocorrelação dos retornos de 15 minutos. 39
- Figura 2.3.3 - Série de volatilidade diária do IBOVESPA de 2002 a 2011. 40
- Figura 2.4.1 - Série da volatilidade diária estimada pela eq. 2.3.7 para o índice IBOVESPA. Os dados estão normalizados para melhor visualização. A média da volatilidade diária nesse período foi 0.0014143. A normalização foi feita dividindo-se cada termo da série por essa média. 43

Figura 2.4.2 Função de autocorrelação da volatilidade diária do IBOVESPA e ajustes com lei de potência e com exponencial dupla (ver tabela 2.4.1).	44
Figura 2.4.3 - Função de autocorrelação da volatilidade diária do IBOVESPA em escala logarítmica para intervalos Δt intermediários.	46
Figura 2.4.4 - Função de autocorrelação da volatilidade diária do IBOVESPA em escala logarítmica para intervalos Δt longos.	46
Figura 2.4.5 - Função de autocorrelação de $v(t)$, $v(t)^2$ e $v(t)^{-2}$.	48
Figura 2.4.6 - FAC de $v(t)^2$ entre os anos de 2007-2009.	49
Figura 2.4.7 - Função de autocorrelação de $v(t)^{-2}$ e ajuste de uma lei de potência e de uma exponencial dupla (ver tabela 2.4.2).	49
Figura 2.4.8 - Correlações entre $\{X(t)\}=\{v(t)^\alpha\}$ e $\{Y(t)\}=\{v(t)^\beta\}$ onde os quadrados vermelhos representam a FAC para $\alpha=1$ e $\beta=-1$ e os quadrados pretos para $\alpha=2$ e $\beta=-2$.	50
Figura 2.5.1 - Valor esperado do módulo do retorno $E[r_\tau]$ calculado para as escalas intradiárias $\tau=5, 10, 15, 20, 30, 60$ e 360 minutos.	53
Figura 2.5.2 Valor esperado $(E[r_\tau^2])^{1/2}$ para as escalas intradiárias $\tau=5, 10, 15, 20, 30, 60$ e 360 minutos.	53
Figura 3.2.1 - Função de autocorrelação da volatilidade (estimada de acordo com a eq. 2.3.1A) de USD-DEM. A linha sólida é o ajuste hiperbólico e a linha tracejada é o ajuste exponencial.	58
Figura 3.4.1 - Correlação <i>lagged</i> $C(\Delta t)$ e assimetria $D(\Delta t)$ entre volatilidades em escalas $\tau_c=1$ dia e $\tau_f=15$ min, definidas segundo as equações 3.4.1 e 3.4.2 respectivamente.	64

Figura 3.4.2 Correlação *lagged* $C(\Delta t)$ e assimetria $D(\Delta t)$ entre volatilidades em escalas $\tau_c=3h$ e $\tau_f=30min$, definidas segundo as equações 3.4.1 e 3.4.2 respectivamente. 65

Figura 3.4.3 - Correlação *lagged* $C'(\Delta t)$ dada pela eq. 3.4.3 e assimetria $D'(\Delta t)$ entre volatilidades quadráticas em escalas $\tau_c=1$ dia e $\tau_f=15$ min. 66

Figura 3.4.4 - Correlação *lagged* $C''(\Delta t)$ dado pela eq. 3.4.4 e assimetria $D''(\Delta t)$ entre os inversos dos quadrados das volatilidades em escalas $\tau_c=1$ dia e $\tau_f=15$ min. 67

Figura 3.5.1 - Correlação *lagged* $C(\Delta t)$ dado pela eq. 3.4.4 para os pares de escalas $\tau_c=60$ min e $\tau_f=30$ min (1), $\tau_c=120$ min e $\tau_f=60$ min (2), $\tau_c=180$ min e $\tau_f=90$ min (3), $\tau_c=360$ min e $\tau_f=180$ min (4). Para todos esses pares, a razão entre τ_f e τ_c é $\frac{1}{2}$. 70

Figura 3.5.2 - Assimetria no fluxo de informação $D(\tau)$ entre as escalas indicadas, cuja razão é $s=1/2$. O intervalo de confiança de 95% é aproximadamente 0.05 e está indicado por linhas horizontais. 71

Figura 3.5.3 - Assimetria $D(\Delta t)$ entre a escala $\tau_f = 30$ minutos e as escalas $\tau_c = 1h, 2h$ e $6h$. O eixo horizontal é representado em unidades da escala mais longa. O intervalo de confiança de 95% é aproximadamente 0.05 e está indicado por linhas horizontais. 72

Figura 3.5.4 - Assimetria $D(\Delta t)$ entre a escala $\tau_f = 60$ minutos e as escalas $\tau_c = 120, 180$ e 360 minutos. O eixo horizontal é representado em unidades da escala mais longa. O intervalo de confiança é aproximadamente 0.05 e está indicado por linhas horizontais. 73

- Figura 3.5.5 Gráfico da correlação *lagged* inter-escalas envolvendo todas as escalas do estudo. Os valores sucessivos de correlação (das escalas menores para as maiores) para cada lag são acumulados a fim de melhor visualização. 74
- Figura 3.5.6 - Gráfico da assimetria $D(\Delta t)$ para as correlações da figura 3.5.5. Os valores sucessivos de assimetria também foram acumulados para cada lag. 74
- Figura 4.1.1 - Distribuição de volatilidade diária (normalizada) do IBOVESPA em amostra de dados diários de mais de dez anos. O intervalo definido para o histograma foi 0.08. 79
- Figura 4.1.2 - Distribuição de volatilidade diária (normalizada) do IBOVESPA na escala semi-logarítmica. 79
- Figura 4.1.3 - Ajuste linear da cauda da distribuição acumulada da volatilidade diária em escala logarítmica. 80
- Figura 4.2.1 - Ajuste da distribuição de volatilidade diária do IBOVESPA por uma Distribuição Log-normal. 83
- Figura 4.2.2 - Reprodução da figura 4.2.1 em escala semi-logarítmica. 83
- Figura 4.3.1 - Ajuste dos dados do IBOVESPA à distribuição dada pela eq. 4.3.3. 85
- Figura 4.3.2 - Reprodução da figura 4.3.1. em escala semi-logarítmica. 85
- Figura 4.4.1 - Ajuste da função de distribuição de probabilidade gerada pelo modelo HRML em escala linear. 87

Figura 4.4.2 Reprodução da figura 4.4.1. em escala semi-logarítmica.	87
Figura 4.5.1 Ajuste da distribuição de volatilidade do IBOVESPA com o modelo descrito pela eq. 4.4.4.	88
Figura 4.5.2 - Reprodução da figura 4.5.1. em escala semi-logarítmica.	89
Figura 4.6.1 - Ajuste do modelo AM quadrático para os dados de volatilidade diária do IBOVESPA.	93
Figura 4.6.2 - Reprodução da figura 4.6.1. em escala semi-logarítmica.	94
Figura 4.7.1 - Comparação do ajuste dos modelos para distribuição da volatilidade diária do IBOVESPA.	94
Figura 4.7.2 - Reprodução da figura 4.7.1 em escala semi-logarítmica.	95
Figura 4.7.3 - Ajuste da distribuição de volatilidade em escala logarítmica.	96
Figura 5.1.1 - Comparação entre o preço do S&P 500 e o preço de seu índice de volatilidade, o VIX.	100
Figura 5.1.2 - Histograma dos retornos logarítmicos diários do IBOVESPA entre 05/1995 e 03/2012.	101
Figura 5.2.1 - Efeito leverage para o índice DJIA [30].	102
Figura 5.2.2 - Média da correlação leverage dos índices S&P500, BE500, Nikkei e FTSE, para dados diários entre 01/2000 e 04/2010	

[30]. A curva tracejada corresponde à previsão de um modelo de volatilidade aditivo. 103

Figura 5.2.3 - Correlação leverage usando formulação dada pela eq. 5.2.3 com os dados de volatilidade quadrática diária do IBOVESPA. 103

Figura 5.2.4 - Correlação leverage para os dados do Ibovespa entre 1995-2012, usando a formulação dada pela eq. 5.2.6 e estimador de volatilidade dado pela eq. 2.3.1A. 104

Figura 5.2.5 - Correlação leverage para os dados de volatilidade diária do Ibovespa na formulação dada pela eq. 5.2.6 e estimador de volatilidade dado pela eq. 2.3.7. 105

Figura 5.2.6 - Reprodução da Figura 5.2.4 para $\tau > 0$ e ajustes com as funções dadas pelas eqs. 5.2.8(A) e 5.2.8(B). 106

Figura 5.2.7 - Reprodução da Figura 5.2.3 para $\tau > 0$ e ajustes com as funções dadas pelas eqs. dadas nas eqs. 5.2.8(A) e 5.2.8(B). 107

Figura 5.2.8 - Reprodução da Figura 5.2.3 para $\tau > 0$ e ajustes com as funções dadas pelas eqs. dadas nas eqs. 5.2.8(A) e 5.2.8(B). 108

Figura A.5.1 - Gráfico ilustrativo com o formato do potencial atrativo de reversão à média presente no modelo estocástico da eq. 4.1.1. 127

Lista de Tabelas

Tabela 2.4.1 - Os parâmetros obtidos a partir dos ajustes da fig. 2.4.2.	44
Tabela 2.4.2 - Parâmetros obtidos para os ajustes mostrados na fig. 2.4.4, para FAC de $v(t)^{-2}$.	50
Tabela 2.5.1 - Valores de parâmetros dos ajustes apresentados nas figuras 2.5.1 e 2.5.2.	53
Tabela 3.3.1 - Descrição das escalas temporais utilizadas no estudo.	61
Tabela 3.3.2 - Probabilidade condicional para a transição entre as escalas temporais $k \rightarrow k-1$. Os valores sob o título Alta / Baixa por exemplo, indicam a probabilidade da escala menor apresentar baixa volatilidade, dado um regime de volatilidade alta na escala maior.	61
Tabela 3.3.3 - Comparação entre as probabilidades condicionais da transição entre os regimes de volatilidade entre as escalas de 1 dia e 2 horas dos índices IBOVESPA e DJIA [18].	62
Tabela 3.5.1 - Volatilidade média (μ) nas escalas temporais fina e larga para cada par com razão $s=1/2$ e respectiva estimativa da taxa de informação W .	69
Tabela 4.2.1 - Parâmetros ótimos obtidos para o ajuste do modelo Log normal.	83

Tabela 4.3.1 - Parâmetros ótimos obtidos para o modelo de Heston.	85
Tabela 4.4.1 - Parâmetros ótimos obtidos para o modelo HRML.	87
Tabela 4.5.1 - Parâmetros ótimos para o modelo de Hull&White.	89
Tabela 4.6.1 - Parâmetros ótimos obtidos para o modelo AM quadrático.	91
Tabela 4.6.2 - Parâmetros transformados ótimos obtidos para o modelo AM quadrático.	92
Tabela 4.7.1 - Resumo dos parâmetros ótimos dos modelos para distribuição da volatilidade diária do IBOVESPA, obtidos a partir do ajuste da distribuição em escala linear.	95
Tabela 4.7.2 - Parâmetros ótimos dos modelos obtidos a partir do ajuste da distribuição da volatilidade diária do IBOVESPA em escala logarítmica.	96
Tabela 4.7.3 - Parâmetros transformados ótimos obtidos para o modelo AM quadrático obtidos a partir do ajuste da distribuição empírica em escala logarítmica.	96
Tabela 5.2.1 - Parâmetros obtidos com o ajuste mostrado na figura 5.2.6.	106
Tabela 5.2.2: Parâmetros resultantes do ajuste da correlação leverage usando a formulação dada pela eq. 5.2.6 e estimador de volatilidade dado pela eq. 2.3.1.	107

Tabela 5.2.3: Parâmetros resultantes do ajuste da correlação leverage usando a formulação dada pela eq. 5.2.3 e estimador de volatilidade dado pela eq. 2.3.1.

108