

# 1

## Introdução

A volatilidade de retornos de ações reflete reações duradouras a choques no passado ou mudanças nos mercados induzem alterações na dinâmica da variável? O fato estilizado de autocorrelações fortemente persistentes em medidas de volatilidade, documentado inicialmente por Taylor (1986) em retornos absolutos de ações e analisado posteriormente em diversos trabalhos focados em potências de retornos (e.g., de Lima e Crato, 1993; Ding, Granger e Engle, 1993) e mais recentemente volatilidade realizada (e.g., Andersen et al., 2001), estabeleceu o conceito de memória longa (ou dependência de longo prazo) como essencial para o estudo da variância de ativos financeiros. Ainda que a literatura GARCH viesse aprimorando o entendimento dos recorrentes aglomerados de volatilidade, a dinâmica de curto prazo dessa classe de modelos revelou-se uma descrição incompleta dos dados: volatilidade alimenta volatilidade, mas poderia essa variável hoje refletir uma semana particularmente turbulenta há um ano, por exemplo? Como os mercados guardam a memória de movimentos passados?

Diante das substanciais evidências empíricas de memória longa na volatilidade de ações e taxas de câmbio, a modelagem dessas séries tornou-se uma das aplicações empíricas mais bem sucedidas de modelos com integração fracional (consultar Baillie, 1996, para uma visão abrangente). Processos fracionalmente integrados (denotados  $I(d)$ , onde  $0 < d < 1$ ) podem ser vistos como um paradigma intermediário entre processos  $I(0)$  –memória curta– e  $I(1)$  –memória infinita– e possuem a habilidade de engendrar, à imagem dos dados, padrões hiperbólicos de decrescimentos em autocorrelações. Embora nenhuma fundamentação teórica tenha sido desenvolvida para substantiar as especificações de memória longa em séries de volatilidade ou explicar a alta persistência de choques passados implicada por esses modelos, os processos  $I(d)$  emergiram como uma descrição consonante do processo gerador de dados de séries de volatilidade realizada, tornando-se a interpretação padrão para estimação e previsão (Andersen et al., 2003). Anteriormente, modelos com memória longa no contexto de modelos GARCH e de volatilidade estocástica foram propostos por Baillie, Bollerslev e Mikkelsen (1996) (FIGARCH) e Comte e Renault (1996)

(LMSV; ver também Breidt, Crato e de Lima, 1998), respectivamente.

Paralelamente, resultados recentes da literatura teórica elucidaram formalmente como propriedades de memória longa não são distintivas de modelos econométricos com integração fracional, mas podem ser consideradas à luz de outras literaturas evoluídas de forma independente. Diebold e Inoue (2001) mostram analiticamente que mudanças estocásticas de regimes são facilmente confundidas com integração fracional, mesmo assintoticamente, na medida em que ocorram “poucas” transições de regime para uma dada trajetória amostral observada. Granger e Hyung (2004) evidenciam como quebras estruturais esporádicas na média geram decrescimentos lentos em autocorrelações e outras propriedades de processos  $I(d)$ . Análises de simulações em ambos os artigos sublinham a relevância desses resultados para aplicações reais.

A questão empírica, entretanto, mostrou-se elusiva; se por um lado a nova literatura inaugurou um debate envolvendo a possibilidade de que a integração fracional fosse um traço espúrio de séries de volatilidade de retornos de ações e taxas de câmbio, alguns estudos avaliaram que quebras estruturais não são capazes de explicar integralmente o grau de persistência nos dados, sugerindo que processos  $I(d)$  e mudanças estruturais podem descrever simultaneamente séries de volatilidade de ativos financeiros (Lobato e Savin, 1998; Martens, van Dijk e de Pooter, 2004; Beltratti e Morana, 2006; Morana e Beltratti, 2004; Hyung e Franses, 2002). Não obstante, a estimação de quebras estruturais representa um reflexo da dificuldade original: é documentado que a presença de integração fracional também ilude métodos usuais de estimação de quebras estruturais, como o derivado por Bai (1997), a considerar mudanças de nível espúrias. Respostas satisfatórias tampouco puderam ser obtidas através de testes estatísticos para distinção entre as alternativas, uma vez os procedimentos de inferência nesse caso herdam as deficiências dos estimadores semi-paramétricos em que são baseados, demandando amostras de tamanhos irrealistas para o alcance de potências apropriadas (e.g., Ohanissian, Russell e Tsay, 2004).

Este trabalho propõe uma nova abordagem empírica relacionada à hipótese de mudanças estruturais, investigando o que “mudanças nos mercados” podem significar para a análise de volatilidade. Com foco em séries de volatilidade realizada (abreviadas RV)<sup>1</sup> de dezesseis papéis que compõem

<sup>1</sup>A variância realizada é definida como a soma dos quadrados de retornos intradiários amostrados em uma frequência suficientemente alta, aproximando com precisão a variância integrada sob o intervalo fixo em que as observações são somadas. Na prática, medidas de alta frequência são contaminadas por ruídos de microestrutura (alternância entre cotações para compra e venda, negociação assíncrona, baixo volume, arredondamentos de preço, dentre outros efeitos; ver a resenha da literatura em Biais, Glosten e Spatt, 2005), introduzindo um *tradeoff* entre viés e variância na estimação. Ignorando o erro de medida remanescente, essa

atualmente o índice Dow Jones, a maior contribuição do estudo é a introdução de variações de preços como uma fonte essencial de informação acerca de mudanças de regime na volatilidade dessas ações. O que acontece, por exemplo, se os retornos foram moderadamente positivos nos últimos meses e então os preços declinam acentuadamente no próximo? Da literatura de efeitos de assimetria (também referidos como efeitos de alavancagem), é reconhecido que retornos negativos estão vinculados com elevações subseqüentes na volatilidade de ações; modelos econométricos como o EGARCH (Nelson, 1991) e o GJR-GARCH (Glosten, Jagannathan e Runkle, 1993) foram propostos para capturar essa relação. Não obstante, a literatura até hoje vem focando quase exclusivamente na conexão observada em um ou poucos dias. Andersen et al. (2001), por exemplo, estimam regressões para séries de volatilidade realizada de ações do Dow Jones incluindo *dummies* para retornos diários negativos defasados e concluem que o impacto do efeito de alavancagem é marginal. A exceção encontra-se em Bollerslev, Litvinova e Tauchen (2005), que examinam evidências intradiárias de correlações negativas entre movimentos nos mercados de ações e a volatilidade desses ativos – os autores mostram que quedas expressivas no mercado em intervalos de cinco minutos estão tipicamente associadas com aumentos de volatilidade que persistem por até vários dias após o choque inicial.

O que ocorre quando esses choques se acumulam? Seriam os *níveis* de volatilidade comparáveis em períodos de mercados declínios nos índices de mercado, como o final de 2002 (meses em que o Dow Jones atingiu o menor nível em quatro anos), e épocas como o ano de 2003, quando o Dow Jones se valorizou em cerca de 25%? Poderiam retornos negativos sob certos horizontes estarem ligados a regimes persistentes de alta volatilidade?

Com base no período entre 1994 e 2003, o trabalho considera essas perguntas através da incorporação de retornos acumulados passados na modelagem das séries de volatilidade. Se variações de preços importam para a análise de volatilidade, quais magnitudes de quedas nos preços configuram regimes diferenciados para a variância desses ativos? Como determinar quais são os horizontes relevantes para essa análise? Para responder essas questões, a estratégia econométrica do trabalho é respaldada por um ciclo de modelagem sistemático e flexível baseado no modelo estruturado em árvore com transições suaves (*STR-Tree*) desenvolvido por Medeiros, da Rosa e Veiga (2005), estabe-

quantificação *ex post* da volatilidade do ativo pode ser analisada como uma variável “observada” (i.e., através de técnicas usuais de séries temporais), em contraste com a abordagem de variável latente de modelos GARCH (Bollerslev, 1986), de volatilidade estocástica ou de médias móveis exponencialmente amortecidas (EWMA) – trazendo inequívocos e importantes ganhos de modelagem (Andersen et al., 2003). Os fundamentos teóricos da volatilidade realizada são trabalhados em Andersen et al. (2003) e Barndorff-Nielsen e Shephard (2002).

lecendo um arcabouço abrangente para a consideração de um vasto conjunto de possíveis variáveis explicativas, múltiplos regimes e efeitos não-lineares. Uma aplicação recente de modelos com estrutura em árvore para volatilidade é realizada por Audrino e Bühlmann (2001).

O resultado central do trabalho mostra que o efeitos de elevações e quedas de preços sobre a volatilidade é de fato altamente significativo e comporta altas estimativas para o parâmetro de integração fracional –mesmo em séries que se estendem por vários anos. Por exemplo, examina-se que a série de volatilidade das ações da IBM pode ser descrita por um modelo não-linear onde declínios de diferentes magnitudes em menos de dois meses estão relacionados com níveis de volatilidade 20% e 60% acima da média de períodos com preços estáveis ou em ascensão. Esses efeitos são substanciados pelo desempenho superior do novo modelo em aplicações fora da amostra para todas as ações analisadas, pronunciadamente em períodos de alta volatilidade.

Outras relações econômicas entre memória longa e mudanças estruturais na volatilidade de ativos foram propostas anteriormente. Beltratti e Morana (2006) encontram uma associação próxima entre quebras estruturais na volatilidade do mercado de ações americano e em variáveis macroeconômicas tais como o crescimento do M1 e a taxa de juros definida pelo Federal Reserve, relacionando a evidência à uma reação de política monetária ao estado do ciclo de negócios. Previamente, Hamilton e Susmel (1994) analisaram que o processo de variância condicional daquele mercado pode ser descrito por um modelo com múltiplos regimes em três estados persistentes, onde o estado de volatilidade acentuada é acionado por um desaquecimento da economia. Kim e Kim (1996) sugeriram que ao invés de fundamentos, uma maior variância no componente de “voga” (*fad*) dos retornos pode ser a fonte da transição para o estado de maior variância. No contexto de integração fracional, Andersen e Bollerslev (1997) demonstraram que o processo de volatilidade observado pode exibir dependência de longo prazo na medida em que a volatilidade é interpretada como uma mistura de inúmeras chegadas de informações heterogêneas no curto prazo.

O objetivo do trabalho, portanto, é aproximar o fato estilizado de memória longa de um arcabouço empírico mais significativo; se for possível relacionar mudanças estruturais com as variáveis candidatas, o problema econométrico de identificação de regimes espúrios perde importância. O estudo sublinha a relevância dessa questão ao documentar novas evidências de que processos com integração fracional são no mínimo uma descrição incompleta de séries de volatilidade de ações, onde uma fraca performance dentro da amostra parece estar intimamente relacionada com a excessiva variação empírica nas es-

timativas do parâmetro de integração fracional através do tempo, inicialmente documentada por Granger e Ding (1996).

Mais pragmaticamente, a vantagem da abordagem desenvolvida reside no fato que uma variável financeira endógena representa potencialmente uma ponte mais flexível para aplicações de administração de risco e apreçamento de opções: em contraste com modelos ARFIMA ou de quebras estruturais, o modelo proposto possibilita o uso das relações estimadas e das persistências induzidas para projeção de cenários mais complexos para a volatilidade. Ohanissian, Russell e Tsay (2004) ilustram a importância desse aspecto ao simular diferentes modelos com propriedades de memória longa como processos geradores de dados “verdadeiros” e analisar as conseqüências para o apreçamento de opções, documentando erros importantes de avaliação originados por especificações incorretas de memória longa.

O restante do trabalho está organizado como se segue. O segundo capítulo discute brevemente o modelo estruturado em árvore com transições suaves, descrevendo os procedimentos de inferência, a estratégia para construção dos modelos e a técnica de estimação. O capítulo três descreve os dados, as especificações e apresenta as estimações para os modelos com quebras estruturais e efeitos de assimetria. A relação entre efeitos de assimetria e memória longa é investigada na quarta seção. O quinto capítulo contém a análise da performance fora da amostra, comparando com os modelos usuais da literatura. A última seção destina-se à conclusão.