

## 6 Conclusão

O objetivo geral desse trabalho foi estudar e verificar de maneira aprofundada a validade dos fatos estilizados da volatilidade do IBOVESPA, comparando nossos resultados com o da literatura de mercados desenvolvidos (principalmente o americano). Observamos que eles são válidos para o mercado brasileiro, embora não exatamente na mesma intensidade ou forma como acontecem em outros mercados.

Utilizamos um estimador de volatilidade mais sensível do que os usualmente utilizados, envolvendo cálculo da dispersão dos retornos de menor resolução temporal dentro da grade temporal analisada. Quando pertinente, fizemos comparações de resultados envolvendo diferentes estimadores.

Enquanto a escala espacial é um importante parâmetro para a física, em economia, é a escala temporal que determina o comportamento observado. Em particular, para a dinâmica microscópica do mercado financeiro, as escalas relevantes são dias, horas e minutos. As mudanças dos cenários macroeconômicos de longo prazo tem papel secundário. Nesse sentido, analisamos a volatilidade do mercado brasileiro em diferentes escalas temporais de curto e médio prazo, estudando os efeitos de memória entre elas. Da mesma forma, discriminamos os resultados de acordo com “filtros” de magnitude de volatilidade.

A invariância por escala é uma assinatura típica de sistemas complexos e mostramos que ela está presente na estrutura da série temporal de retornos do mercado brasileiro. A princípio, encontramos que o processo que governa a dinâmica da magnitude dos retornos intradiários do IBOVESPA possui múltiplas escalas, dado que, de acordo com a ordem dos momentos, cuja estatística privilegia diferentes magnitudes de retorno, obtivemos expoentes de escala diferentes.

Além disso, investigamos a assimetria de propagação de informação governada pela heterogeneidade dos agentes do mercado, através da análise das propriedades estatísticas do fluxo de informação entre volatilidades de resoluções longas e curtas. Para tanto, utilizamos as séries de volatilidade do IBOVESPA em diversas escalas temporais e a partir delas pudemos confirmar que a correlação

assimétrica observada nos mercados mais desenvolvidos também ocorre nas séries do mercado nacional.

Os dados de volatilidade em diferentes escalas temporais no mesmo instante de tempo mostram ainda a existência de uma assimetria na correlação de acordo com a magnitude típica do regime de volatilidade: o regime de volatilidade baixa em escala longa é muito provavelmente acompanhado por baixas volatilidades em escala curta. Já para períodos de volatilidade alta em baixas frequências, a probabilidade de encontrarmos um regime de alta ou baixa volatilidade em altas frequências é praticamente a mesma. Notamos porém, que essa assimetria é muito mais fraca do que para o mercado americano. O Brasil, por ser um mercado menor e menos desenvolvido, está mais sujeito a mudanças repentinas de regime de volatilidade a partir da entrada de novas informações no mercado. Isso contribui para a existência simultânea de regimes de volatilidade com magnitudes diferentes em escalas temporais diferentes.

A partir de evidências empíricas, concluímos que o mercado brasileiro é heterogêneo, no sentido que possui agentes atuando com estratégias distintas e em escalas temporais diferentes. Aqui também existem várias classes de investidores, desde os *traders* intradiários até os investidores de longo prazo, como fundos de pensão. Cada um desses agentes tem uma janela temporal de atuação distinta, e a dinâmica de relacionamento entre eles define o fluxo das informações dentro da bolsa de valores e se reflete nos preços observados.

O mercado brasileiro exibiu também o efeito *leverage*, fenômeno que apresenta assimetria temporal para correlação negativa entre retorno e volatilidade. Um dado importante sobre esse efeito no mercado brasileiro é que ele foi melhor descrito por uma exponencial dupla, a despeito de vários estudos visitados na literatura serem encontradas exponenciais simples, para diversos índices. Esse resultado configura mais uma diferença entre o IBOVESPA e os índices de países desenvolvidos.

Entre os fatos estilizados mais conhecidos que analisamos está a persistência da correlação, que indica a existência de *clustering* de volatilidade. A FAC da volatilidade diária do Ibovespa mostra que existem duas escalas temporais características na dinâmica dessa grandeza: uma intradiária e outra da ordem de um mês. Também analisamos correlações não-lineares entre  $X(t)=\{v(t)^{\alpha}\}$  e  $Y(t)=\{v(t)^{\beta}\}$ , que permitem verificar o grau de dependência ao

privilegiarmos diferentes magnitudes de volatilidade. Concluímos que, no caso do IBOVESPA, as volatilidades baixas governam o comportamento de mais longo prazo da memória dessa grandeza, por sua maior significância estatística.

Estudamos a distribuição da volatilidade diária do IBOVESPA, a fim de analisar quais os modelos mais adequados para descrever sua evolução temporal. Obtivemos distribuição de volatilidade com cauda com decaimento em lei de potência, o que mostra uma probabilidade significativa de ocorrência de eventos extremos. O modelo mais adequado que encontramos foi o AM quadrático, cujo processo estocástico possui estrutura de ruído aditivo e multiplicativo. Neste caso, obtivemos os parâmetros microscópicos que governam o mecanismo de reversão à média de curto prazo, assim como as amplitudes das componentes de ruído aditivo e multiplicativo. No entanto, um aspecto que nossos modelos falham em mostrar, e deve ser objeto estudo no futuro, é a existência das duas constantes temporais na FAC da volatilidade diária.

Nesse sentido, outro estudo que apontaríamos é analisar a dinâmica da volatilidade nas diferentes escalas temporais intradiárias. Será que ela apresentaria algum tipo de invariância? Como seria a dependência dos parâmetros do modelo de acordo com a escala temporal envolvida? A FAC seria eficientemente modelada por uma exponencial também para escalas intradiárias? Qual seria a relação entre as constantes temporais que emergem da FAC de volatilidade em escalas temporais de diferentes ordens de grandeza? Não tivemos tempo e/ou espaço para abordar todas essas questões no presente trabalho, mas consideramos importante a realização de futuros estudos nessa direção.

Em resumo, a janela temporal de observação considerada é fundamental para a análise do comportamento da volatilidade, assim como sua resolução temporal. Além disso, é preciso o desenvolvimento de modelos estocásticos que permitam a existência de correlação assimétrica.

A volatilidade é, em última instância, uma medida da incerteza. Ela pode ser medida nas bolsas de valores (onde é mais facilmente observada), nos mercados de imóveis, de *bonds* (papéis de dívidas de governos ou empresas), de moedas, entre outros. É claro que, dependendo do tipo de mercado, ela pode ser maior ou menor, mas ela estará sempre presente, influenciando o futuro do mercado.

Obviamente não é possível prever a trajetória do preço ou retorno a partir da volatilidade, mas é possível inferir o comportamento médio que essas grandezas

devem seguir em uma situação normal de mercado. O sistema financeiro é formado por seres humanos imperfeitos, que muitas vezes não agem de forma racional e os modelos desenvolvidos pela matemática ainda não puderam captar completamente essa característica.

Medir riscos é importante desde o início da atividade econômica. Do feudalismo da idade média até o capitalismo no século XXI, embora os setores e agentes econômicos tenham mudado radicalmente, bem como a forma como eles atuam, todos ainda buscam minimizar seus riscos de perda. Possuir qualquer ativo implica em um determinado grau de risco, e nesse contexto, analisar a volatilidade torna-se imperioso. Esse trabalho vem contribuir para o entendimento dessa grandeza no contexto do mercado de renda variável brasileiro.