

## 5 Conclusões

O modelo microscópico de mercado apresentado descreve um sistema no qual muitos agentes heterogêneos interagem através de uma regra de formação de preços que produz resposta às decisões de negociação. O modelo é uma descrição simplificada do feedback entre o processo de decisão dos agentes e a resposta dos preços.

O objetivo principal do estudo não é obter descrição quantitativa do desvio da normalidade e do comportamento IID das flutuações de preços, mas identificar os fatores que regem estes efeitos no mercado real.

O modelo contém características relevantes do mercado financeiro, permitindo analisar em detalhe como o comportamento macroscópico dos observáveis financeiros (preços, volume de negociação, riqueza) depende das variáveis microscópicas e parâmetros do sistema (grau de aversão ao risco, número de agentes, etc).

Na simulação do mercado artificial, a cada instante de tempo, os agentes detêm uma fração de sua riqueza em ações e o resto em capital, estando restritos a negociar ações de um único título.

Um ingrediente importante do modelo é a competição entre dois tipos de agentes: os aleatórios, cujas decisões de investimento não estão relacionadas à dinâmica interna do mercado, e os agentes dotados de racionalidade parcial, que analisam a chegada de novas informações e a resposta passada do mercado para antecipar o movimento dos preços.

Enquanto o primeiro tipo de agente provê liquidez ao mercado, o segundo tipo colore o ruído branco produzido pelos agentes aleatórios e pelo processo de chegada de novas informações. Os agentes aleatórios representam assim o bulk do mercado. Eles formam um “banho térmico” para a atuação dos agentes técnicos, que por sua vez alteram o processo estocástico dos preços.

O processo de formação de preços do mercado é baseado no equilíbrio entre oferta e demanda, através de uma descrição *coarse-grained* que não entra em detalhes deste processo. Esta descrição, embora inadequada para as negociações que ocorrem no processo real na escala intra-diária, fornece uma aproximação do processo agregado em escala diária.

Apesar da modelagem simples do comportamento endógeno dos agentes e da microestrutura do mercado, foi possível construir um mercado artificial que reproduzisse fatos estilizados dos mercados reais nesta escala temporal.

Foi feita uma hipótese realista de que as fontes de riqueza dos agentes são limitadas. Assumimos que no horizonte temporal considerado, o capital e o número de ações no mercado são invariantes. Estes vínculos afetam o processo de decisão dos agentes e a performance das estratégias de investimento, impondo restrições ao enriquecimento dos agentes que adotam estratégias lucrativas.

Apesar de  $\mathcal{C}$  e  $\mathcal{S}$  serem invariantes no tempo, a riqueza total  $\mathcal{W}$  do mercado é uma quantidade variável no tempo, sendo função linear do preço atualizado da ação. O sistema de formação de preços, portanto, é capaz de criar e destruir riqueza.

Os agentes pertencentes a um mesmo tipo de população atuam simultaneamente, porém as ordens emitidas por cada grupo não são proporcionais ao tamanho do grupo. O modelo introduz flutuações devido à riqueza heterogênea dos agentes e à aversão individual ao risco, além de incertezas quanto às informações do mercado.

A aversão ao risco foi introduzida como um parâmetro racional que os agentes utilizam para equilibrar seus investimentos e reavaliá-los quando surgem novas informações e flutuações de preço. A aversão ao risco dos agentes mostrou ser importante para a estabilidade dos preços e do equilíbrio da distribuição da riqueza do mercado entre capital e o valor agregado das ações, além de impedir que agentes ficassem fora do mercado pela perda total de capital. No entanto, não se obteve evidências de que a aversão ao risco esteja positivamente correlacionada com o desempenho dos agentes.

No modelo, a memória na série de preços é introduzida pelos agentes técnicos e pela sensibilidade dos agentes à volatilidade do mercado. Esta sensibilidade representa um aspecto realista da psicologia dos agentes de amplificação de incertezas do mercado. A dependência da escala das variações na resposta dos preços com a volatilidade pode ser considerada como uma implementação microscópica do modelo GARCH [20], que é conhecido por gerar distribuições leptocúrticas de retornos e memória nas flutuações de preço.

O modelo permite que o especulador não negocie se ele considera que o mercado não oferece oportunidade de arbitragem suficientemente lucrativa. Outra característica realista do mercado artificial é que a frequência de atuação dos agentes técnicos é baixa. Mesmo os controladores de fundos limitam sua atividade de negociação devido às taxas de negociação, mantendo a carteira estável até por semanas.

Assim, o embora o mercado de ações possa ser tratado como um sistema estatístico, está longe do limite termodinâmico e apresenta fortes “efeitos de tamanho finito”, revelado pela existência de grandes flutuações relativas de preço. Da mesma forma, as propriedades estatísticas dos preços dependem mais das flutuações da demanda e oferta do que de seus valores médios.

Como resultado das simulações, o modelo é também muito sensível à fração de agentes técnicos no mercado. Observa-se que é necessário um equilíbrio entre a diversidade da população de agentes técnicos e o tamanho do mercado para que sejam observadas séries de preços realistas e memória marginal nas flutuações de preços. Enquanto o excesso de agentes técnicos introduz comportamento anômalo das distribuições de retornos, o excesso de agentes aleatórios destrói toda a informação gerada pela atuação dos agentes técnicos no sistema.

A coexistência de investidores heterogêneos, com diferentes comportamentos e horizontes de investimento é característica necessária do mercado para gerar uma evolução dinâmica regular de preços. No entanto, esta coexistência é possível no longo prazo desde que não haja uma estratégia de negociação que consistentemente renda maiores retornos, pois a população de investidores perdedores tenderia a sair do mercado.

Na verdade, nenhum investidor pode pretender ser capaz de formular uma expectativa totalmente racional de preço futuro e garantir o êxito de sua estratégia. Todos os investidores têm racionalidade limitada, pois, além do tempo para a análise das informações e da capacidade computacional serem limitados, o comportamento futuro dos preços depende da atuação dos outros investidores, cuja inferência é incerta.

Um dos objetivos do trabalho foi o de analisar o papel do comportamento endógeno do mercado na formação dos preços, e em particular, analisar a performance das estratégias baseadas na Análise Técnica de Investimento.

Os agentes do mercado artificial negociam com diferentes frequências, segundo os mecanismos de ativação das estratégias selecionadas. No entanto, foram considerados apenas horizontes temporais curtos de investimento, de forma a representar especuladores de curto prazo. Além disso, as janelas temporais dos indicadores técnicos, que representam a memória passada dos preços utilizada pelos agentes, foram escolhidas dentro de um conjunto pequeno de valores, de forma a privilegiar a heterogeneidade do tipo de estratégia em si na análise da performance da população de agentes.

Um resultado importante das simulações é que as os agentes técnicos têm performance superior aos agentes aleatórios. Isto significa que atuação conjunta das estratégias na antecipação dos preços introduz memória no sistema, que é

explorada pelos agentes técnicos.

Outro resultado das simulações é que diferentes populações de agentes não podem coexistir no longo prazo, pois uma população invariavelmente domina o processo de negociação enquanto outras perdem progressivamente riqueza. No entanto, a estratégia de performance superior depende das condições do mercado e da presença de outras estratégias. A condição de mercado fechado não é adequada para representar o mercado real no longo prazo e assim, variações das condições macroeconômicas, como fluxo não estacionário de capital, introduzindo ciclos exógenos de variação de preços, podem explicar o maior equilíbrio de desempenho das estratégias técnicas observadas no mercado real.

Uma vez que a performance das estratégias não pode ser julgada isoladamente, a microsimulação torna-se uma técnica indispensável para a análise da performance das estratégias e da possibilidade de coexistência de diversidade de estratégias no longo prazo.

A microsimulação permite também interpretar como fenômenos complexos tais como, auto-correlação da volatilidade, distribuições de retorno leptocúrticas e até mesmo crashes, podem surgir no mercado financeiro, abrindo um leque de possibilidades de investigação. O entendimento do comportamento coletivo do mercado real pode ser aprofundado à medida que a modelagem é estendida.

Como extensão da modelagem apresentada, podemos incluir a conectividade na rede de agentes permitindo sua agregação na tomada de decisão, condições não-estacionárias do ambiente econômico com a injeção de capital, a formação de carteira com diferentes tipos de ativos de risco. A inclusão de comportamento mais inteligente dos agentes racionais, com a utilização de estratégias de investimento mais complexas, assim como a análise da influência da diversidade das estratégias sobre o sistema, são também extensões naturais deste estudo.