

MERCADOS FINANCEIROS: SISTEMA CAÓTICO OU ALEATÓRIO?

FINANCIAL MARKETS: CHAOTIC SYSTEM OR RANDOM?

Emílio Flávio Guerra Gomes

Mestre em Desenvolvimento Econômico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).
Economista da Petrobras.
E-mail: emiliop2f@hotmail.com

Karlo Marques Junior

Mestre em Desenvolvimento Econômico pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).
Professor da Faculdade de Educação Santa Terezinha (Fest).
E-mail: karlomjunior@hotmail.com

Resumo

O presente artigo busca confrontar duas visões a respeito do comportamento dos preços dos ativos no mercado financeiro. De um lado, teremos a hipótese dos mercados eficientes ilustrada pelos modelos CAPM e Garch. De outro lado, será exposta a hipótese de existência de caos determinístico no comportamento dos preços dos ativos no mercado financeiro. Para isso, usaremos o modelo de Day e Huang (1990).

Palavras-chave: Mercado financeiro; Hipótese dos mercados eficientes; Caos determinístico.

Abstract

This article investigates two opposite views about behavior of asset prices in financial markets. On one hand we have the efficient market hypothesis, illustrated by the CAPM model and the Garch model. On the other hand, will be exposed to the hypothesis of deterministic chaos in the behavior of asset prices in financial markets. For this, we use the Day and Huang model (1990).

Keywords: Financial market; Efficient market hypothesis; Deterministic chaos.

1

INTRODUÇÃO

Os mercados financeiros desempenham a importante função de alocar os recursos monetários existentes na economia. Esse mercado é o ponto de encontro entre os agentes superavitários e deficitários. Daí a importância em estudar e compreender o seu funcionamento, principalmente diante da intensa liberalização e integração dos mercados mundiais, observada fortemente ao final do século XX.

O grau de desenvolvimento do sistema financeiro no que diz respeito à sua eficiência na alocação dos recursos afeta consideravelmente o nível e o tipo de investimento de uma economia. Dentro do sistema financeiro, existem dois padrões (ou sistemas) de financiamento distintos. O primeiro seria o *credit based system* (baseado no crédito bancário), à semelhança do Japão, da Itália e da Alemanha, que caracterizaria a maioria dos países do leste asiático. O segundo é o *market based system* (baseado no mercado de capitais), com destaque para os Estados Unidos e o Reino Unido. Para a América Latina, apesar de ainda pouco desenvolvido, o padrão de financiamento poderia ser considerado do tipo *market based*, em que o grau de alavancagem das firmas é relativamente baixo

Procuramos aqui contrapor duas vertentes opostas acerca do funcionamento e da eficiência de tais mercados: a hipótese de mercados eficientes (HME) e a possibilidade de os preços dos ativos financeiros se comportarem de acordo com a condição de caos determinístico. Escolhemos o padrão de financiamento *market based system* para nos servir de referência, por causa de sua relevância para os Estados Unidos, a maior economia mundial, de sua relativa semelhança com o caso brasileiro e do forte crescimento do mercado acionário no Brasil, a partir principalmente de 2003.

Um mercado é considerado eficiente quando o sistema de preços do mercado reflete plena e imediatamente todo o conjunto de informações disponíveis aos seus agentes, sendo impossível auferir lucro econômico de forma sustentável com as informações presentes (SMITH, 1984). Quando o mercado segue tal padrão, os preços dos ativos financeiros são uma estimativa não tendenciosa do valor real do investimento, isto é, quaisquer desvios dos preços em relação ao seu valor real serão apenas desvios aleatórios (*random walk*).

Utilizando esse referencial, temos a base teórica da matriz ortodoxa no que diz respeito à teoria do comportamento do mercado financeiro.

Temos, no entanto, uma nova perspectiva a respeito do comportamento dos preços dos ativos financeiros, trata-se de um complexo sistema não linear dito caótico, que nos permite alguns indícios de previsibilidade e, portanto, possibilidade de auferir lucros econômicos, ainda que apenas no curto prazo.

O objetivo central de tal artigo consiste em contrapor a HME utilizando a teoria do caos determinístico como referência teórica para o funcionamento dos mercados financeiros de padrão *market based system*. Sob essa nova perspectiva, os agentes, ainda que ajam de forma racional, não podem precificar com segurança os ativos existentes nos mercados, mesmo que utilizem de todas as informações que lhes são disponíveis. Tal preceito fere sensivelmente os axiomas neoclássicos da ergodicidade e da eficiência dos mercados.

O artigo está dividido em cinco partes, considerando esta introdução: na seção 2, teremos uma breve revisão do debate entre a HME e a possibilidade de o mercado financeiro apresentar um comportamento do tipo caótico; na seção 3, serão expostos os modelos teóricos e empíricos que dão sustentação à HME, além da exposição de alguns resultados encontrados na literatura. Na seção posterior, de número 4, trabalharemos um modelo que se tornou referência na literatura que envolve caos e mercado de capitais – trata-se do modelo Bulls, Bears and Market Sheep, desenvolvido por Richard H. Day e Weihong Huang (1990) – e examinaremos também a possibilidade de detectar um processo caótico, contrapondo à visão do comportamento do mercado acionário como um passeio aleatório (*random walk*). E por último, apresentaremos as conclusões obtidas acerca do debate que se segue.

2

EFICIÊNCIA DOS MERCADOS ACIONÁRIOS

A partir dos anos 1970, vários estudos foram direcionados para os mercados de capitais no intuito de verificar sua eficiência. A recente liberalização financeira nos países emergentes, as excessivas flutuações e a instabilidade dos mercados têm impulsionado a investigação econômica nessa área.

Fama (1970 apud TORRES; BONOMO; FERNANDES, 2002, p. 200) propôs uma taxonomia na qual:

[...] um mercado será dito eficiente na forma fraca quando for impossível obter retornos anormais para qualquer ativo do mercado utilizando-se informações acerca de seus retornos passados. Se o nível de retorno considerado normal for constante, esta definição implicará em um passeio aleatório para o (log do) preço de um ativo.

O argumento convencional é de que qualquer ganho adicional que pudesse ser obtido via padrões previsíveis seria automaticamente precificado pelos *traders* racionais. Dessa forma, apenas restariam as perturbações causadas por informações que surpreendessem os agentes. A abordagem convencional trata o comportamento do mercado acionário como um passeio aleatório (*random walk*).

A confirmação do modelo do passeio aleatório invalidaria complexas técnicas de análise gráfica, bem como modelos econométricos sofisticados de previsão de preços de ativos, já que ambos se pautam no comportamento passado para fazerem previsões futuras.

A incapacidade de previsão, independentemente de qual ferramenta (análise gráfica e/ou econometria) não é exclusiva do modelo de passeio aleatório. Tais características podem ser observadas em modelos nos quais o caos esteja presente (porém, este último nos abre alguma possibilidade de previsão, ainda que apenas no curto prazo). Entretanto, no caso de caos determinístico, o processo estocástico derivado do comportamento dos agentes não seria mais uma consequência da eficiência do mercado.

Dessa forma, duas correntes distintas de análise surgiram:

- Aquela que defende que os mercados são eficientes, com processos estocásticos.
- A corrente que advoga que os mercados são ineficientes, caracterizados por uma dependência não linear que deriva do fato de os mercados obedecerem a uma lei de comportamento caracterizável por um sistema determinístico caótico e, portanto, previsível em curto mas não em longo prazo.

A visão tradicional, HME, defendida inicialmente por Bachelier (1900 apud TOMÉ, 2003), acerca do comportamento dos rendimentos das ações no mercado de capitais, sugere que este segue um passeio aleatório. Portanto, qualquer perturbação ocorrida no seu funcionamento e conseqüentemente qualquer possibilidade de obter lucro econômico se remetem a um choque exógeno posteriormente incorporado pelos agentes. De tal forma, os rendimentos dos ativos financeiros estariam dependentes da ocorrência de múltiplas variáveis tipicamente imprevisíveis, o que deu origem aos modelos CAPM e Garch de estimação de rendimentos.

No contraponto à visão tradicional, temos Poincaré (1952) que realizou estudos na área das equações diferenciais e mostrou que a ocorrência de processos não lineares impossibilitaria uma única solução para um dado sistema. Além disso, segundo esse autor, nos sistemas não lineares, a ocorrência de erros nas condições iniciais do sistema seria ampliada pela existência de um *feedback* no processo. A previsão de longo prazo era impossível por causa da existência de sensibilidade às condições iniciais e do comportamento aperiódico do sistema, o que deu origem à teoria do caos. Bachelier e Poincaré deram origem a essas correntes de pensamento distintos que, atualmente, constituem as bases teóricas acerca da forma de funcionamento dos mercados financeiros.

A seguir, apresentamos as considerações gerais dessas duas visões teóricas sobre o comportamento dos preços dos ativos e alguns resultados empíricos observados na literatura que trata do referido assunto.

3

PASSEIO ALEATÓRIO NO MERCADO DE CAPITAIS

Como já foi dito, em um mercado eficiente, o comportamento dos preços dos ativos financeiros é uma estimativa não tendenciosa do valor real do investimento, isto é, quaisquer desvios dos preços em relação ao seu valor real serão apenas desvios aleatórios (*random walk*). Um modelo tradicional de precificação de ativos dentro dessa linha teórica é conhecido como modelo CAPM, e seus traços gerais serão expostos nesta seção. O modelo econométrico de séries temporais Garch, outro tradicional modelo usado para precificação de ativos, será exposto também nesta seção.

■ 3.1 Modelo CAPM de precificação de ativos

Segundo Carvalho et al. (2001), em mercados de capitais eficientes, não há possibilidades inexploradas de arbitragem. A demanda por cada ativo corresponderá àquela participação da carteira ótima do agente representativo, e, portanto, o preço dos ativos corresponderá, no caso de informações perfeitas e de agentes com expectativas racionais, às preferências dos agentes em relação a risco e rentabilidade. Tal afirmação é formalmente demonstrada por meio do conhecido modelo de precificação de ativos, CAPM, que busca provar que, em situação de equilíbrio, existe uma relação linear entre o excesso de retorno de investimento sem risco e o excesso de retorno do mercado como um todo.

Admitindo um *trade-off* entre retorno e risco, temos:

$$R_m - (R_{sr} / \sigma_m) \tag{1}$$

Isso implica dizer que, para qualquer portfólio eficiente, o retorno de qualquer ativo (R_i) deveria ser definido da seguinte forma:

$$R_i = R_{sr} + R_m - (R_{sr} / \sigma_m) \cdot \sigma_i \tag{2}$$

em que o risco total de mercado é (σ_m), o retorno médio de todos os ativos de mercado é dado por (R_m), e (R_{sr}) indica o retorno do ativo sem risco.

No entanto, na equação (2), deixamos de considerar o fato de que a diversificação pode gerar um crescimento do retorno esperado do portfólio mais do que proporcional ao crescimento do risco assumido, caso o ativo adicional tenha um coeficiente de correlação em relação ao portfólio inferior a 1 (CARVALHO et al., 2001).

Vamos considerar que os agentes sobre a hipótese de expectativas racionais mantêm portfólios bastante diversificados (por causa do *trade-off* entre retorno e risco). Então, podemos supor que o coeficiente de correlação para um ativo qualquer é aquele que mede a correlação entre o rendimento de um determinado ativo e o rendimento do mercado como um todo. Esse coeficiente foi chamado de β por Willian Sharpe (1966) e John Lintner (1965). Assim, temos que:

$$\beta = \text{Cov}(R_i, R_m) / \sigma^2(R_m) \quad (3)$$

Como resultado, o retorno do ativo deve ser proporcional a β , isto é:

$$R_i = R_{sr} + \beta(R_m - R_{sr}) \quad (4)$$

Em suma, o que buscamos é o prêmio ($R_m - R_{sr}$) que faz que o investidor seja indiferente no que diz respeito a adquirir ações com um nível de risco ou um título livre de riscos, dada a relação entre risco e retorno.

■ 3.2 Modelo Garch para o mercado de capitais

Outra forma bastante usada na literatura para a previsão dos rendimentos no mercado de capitais, supondo eficiência dos mercados, é o modelo *general autoregressive conditional heteroskedasticity* (Garch). Tal modelo supõe que a variância da série temporal no instante t é conhecida, mas está condicionada à informação disponível em $t-1$ e anterior a esta (CAVALCANTE, 2007).

O modelo Garch passa a ser bastante difundido a partir da década de 1980, quando indícios de não linearidade nos retornos diários apresentados pelo teste de McLeod e Li (1983) e a hipótese de linearidade média nos retornos diários das ações são rejeitados pelo teste de Hsieh (1989), ao contrário do que era previsto pelo modelo Arma. Este utilizava especificações lineares com média condicionada, do tipo autorregressivo com média móvel.

Conforme demonstrado em Tomé (2003), o modelo Garch é um processo estocástico em que a volatilidade condiciona os rendimentos no futuro próximo. Apresentaremos aqui, como nos moldes especificados pelo autor, um modelo que incorpora, na equação da média, as autocorrelações significativas encontradas e a variância estimada para o período. Dessa forma, temos a seguinte relação:

$$R_t = a_1 + a_2 \sigma_t^2 + b_1 R_{t-1} + b_2 R_{t-2} + b_3 R_{t-3} + \dots + b_n R_{t-n} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Com:

$$\sigma_t^2 = c^1 + c^2 \sigma_{t-1}^2 + c_3 \varepsilon_{t-1}^2 \quad (6)$$

em que: R_{t-i} = taxa de rendimento com uma defasagem temporal “i”; a_i, b_i, c_i = coeficientes estimados para cada uma das variáveis; σ_t^2 = variância do resíduo “ ε_t ”.

No modelo Garch, os rendimentos são funções não só dos rendimentos do período anterior, mas também da variância/volatilidade observada no passado e dos erros observados na amostra. Trata-se de uma dependência não linear dos rendimentos. Tanto os modelos lineares quanto os modelos não lineares mais sofisticados têm em comum a ideia de mercados eficientes com rendimentos das ações, seguindo um processo estocástico em que as previsões podem ser feitas com base numa margem de erro/risco probabilístico.

■ 3.3 Evidências empíricas

Diversos trabalhos econométricos foram desenvolvidos com o intuito de comprovar a eficiência dos mercados de capitais, como o de Cavalcante (2007) que demonstra que a longa memória na volatilidade dos retornos tende a ser bastante elevada para o Ibovespa, corroborando, assim, variações do modelo Garch.

Torres, Bonomo e Fernandes (2002) comprovam a compatibilidade entre previsibilidade e eficiência de mercado para a Bovespa sobre a tutela de três interpretações:

- Os padrões de previsibilidade são compatíveis com retornos esperados variantes ao longo do tempo, dentro do contexto do modelo de equilíbrio intertemporal com expectativas racionais de Lucas (1978). Isso significa que se trata de uma variação do modelo CAPM.
- Os fatos estilizados não são robustos ao tratamento adequado dos dados, sendo derivados de problemas de microestrutura do mercado.
- Os lucros extraordinários derivados de estratégias que explorem os padrões de previsibilidade indicados seriam eliminados quando considerados os custos explícitos de transação, como custos de corretagem e impostos.

Também encontramos uma vasta gama de trabalhos relacionando dados de outros países. Sewell et al. (1993) concluíram que os comportamentos não lineares das taxas de rendimento semanais de seis índices de ações de vários países, nomeadamente do Japão, dos Estados Unidos, da Coreia, de Hong-Kong, Cin-

gapura e Taiwan, eram passíveis de ser explicados por um modelo Garch. French, Schwert e Stambaugh (1987) e Brock (1987) também demonstraram que o comportamento não linear das taxas de rendimento diárias dos mercados dos Estados Unidos podia ser explicado por um modelo Garch-M.

Em oposição à visão de eficiência dos mercados, temos a hipótese de que os preços dos ativos seguem um comportamento de caos determinístico. A seguir, apresentamos um modelo teórico que busca corroborar tal visão. Trata-se do modelo desenvolvido por Day e Huang (1990), intitulado Bulls, Bears and Market Sheep.

4

EXISTÊNCIA DE CAOS NO MERCADO DE CAPITAIS

Consideramos agora uma abordagem que se contrapõe à visão tradicional. Day e Huang (1990) desenvolveram um modelo determinístico de excesso de demanda para o comportamento do mercado acionário, mas que, apesar de determinístico, gera, “surpreendentemente”, flutuações “estocásticas” e mudanças aleatórias entre mercados *bull* (aumento de preço das ações) e *bear* (queda no preço das ações).

O estudo de Day e Huang (1990) surge da seguinte pergunta:

[...] é possível que as características observáveis dos preços de mercado de capitais, tais como a sua imprevisibilidade, natureza flutuante e sua tendência a gerar períodos alternados de aumentos generalizados ou quedas generalizadas, os chamados mercados “touros” e “ursos”, que parecem de repente mudar de um para o outro em intervalos irregulares, derivam da maneira como os participantes do mercado se comportam?

O modelo contraria a HME. Os agentes possuem diferentes níveis de informação, o que, em última instância, leva a comportamentos consideravelmente distintos. A premissa do modelo é que os agentes agem de maneira subjetiva, conforme seu grau de informação e disponibilidade de recursos. Existem três tipos de agentes: os investidores α , os investidores β e o *market maker*. Cada um desses agentes atua de maneira diferente no mercado.

Os investidores α são investidores sofisticados que utilizam técnicas de estimação para o valor “justo” da ação no longo prazo. Esses investidores tentam comprar ações quando os ganhos de capitais se mostrarem potencialmente mais altos. Ou seja, compram quando o preço está baixo em relação ao valor estimado (u). O processo de venda ocorre de maneira análoga: quando o valor da ação estiver acima do valor u , a chance de perda de capital será grande. Dessa forma, os agentes fecham suas posições vendendo as ações.

Os investidores sofisticados operaram com base na análise fundamentalista, técnica e econométrica. A premissa básica da “escola” fundamentalista é que o valor justo de uma empresa está associado à sua capacidade de gerar lucros no futuro. Segundo Fama (1995), as ações apresentam valores intrínsecos que dependem do potencial de ganho da firma, o que, por sua vez, depende dos valores fundamentais da própria empresa, do mercado em que atua e das condições macroeconômicas em âmbito nacional e internacional. Assim, ao estudar determinadas empresas e mercados, é possível, para um analista, determinar se a ação está precificada acima ou abaixo do seu valor intrínseco.

Além dessa escola fundamentalista, temos ainda a “escola” técnica ou grafista. Analisa-se basicamente o comportamento dos gráficos de preço e volume. A teoria por trás dos gráficos é que todas as informações necessárias para a composição do portfólio dos investidores estão contidas nos preços. Essa teoria está baseada em princípios teóricos desenvolvidos originalmente por Charles Dow, que foi o primeiro a criar índices para acompanhar o mercado cujo índice mais importante do mercado de ações mundial, o Dow-Jones, recebeu esse nome. Sob essa visão, não são as notícias que movimentam o mercado, o mercado move-se em tendências. Apenas o que é totalmente imprevisível não está nos preços nem nos gráficos. A premissa básica dessa escola é que a história tende a se repetir. Dessa forma, padrões gráficos do passado tendem a aparecer no futuro.

O modelo descarta a HME, pois os agentes possuem diferentes graus de informação e diferente capacidade de previsão. Além disso, dado o uso de técnicas de econometria e análise gráfica, invalida a noção de passeio aleatório para os investidores.

Apesar de não trabalharem com a HME, os autores supõem que os investidores incorporam as informações mais recentes disponíveis para então determinar o preço u da ação. Segundo Day e Huang (1990, p. 301):

[...] tentativas dos investidores α de incorporar as mais recentes informações às suas estimativas de u . Uma vez que eventos “germane” podem ocorrer quase aleatoriamente, este valor pode ser um tanto volátil, talvez mudando até mesmo diariamente. Se I é a base de dados e a informação qualitativa para estimar u , poderíamos escrever $u = \Phi(I)$. Uma vez que tal variedade e quantidade de informação está envolvida, assim como a aplicação de Φ , investidores α devem ter recursos substanciais à sua disposição. Devem empregar tempo e energia próprios e de assistentes e consultores contratados. Esse é o motivo pelo qual são frequentemente chamados de “the big boys”.

O uso das informações mais recentes altera a percepção do preço justo de longo prazo para os investidores α , porém, para que haja de fato transações, não basta que u se altere. O processo de compra e venda de ações depende não apenas do valor justo, u , mas também do preço corrente (p) delas, já que a transação é função do ganho de capital possível que, por sua vez, depende justamente da divergência existente dentre p e u .

Haverá comercialização das ações com base em uma função ponderada do preço corrente p , essa função leva em conta a chance de oportunidade perdida (compra no fundo e venda no topo). A compra e venda de ações ocorrem dentro de um intervalo determinado pelo valor máximo (M) e mínimo (m). O máximo representa o topo, e o mínimo, o fundo. Os preços M e m são fixos ao longo do tempo. Temos então que a função $f(p)$ é não negativa, diferenciável e limitada a $[m, M]$. Assim, quanto mais próximo p estiver de M , menor será o ganho de capital possível e maior será o risco de comprar uma ação. Algo bem realista, dado que, pela análise técnica, quanto mais próximo do suporte (quando se supõe que a ação dos compradores será sempre mais forte que a dos vendedores, o que forçará os preços para cima), maiores as chances de ganho, e quanto mais próximo da resistência, menor a chance de ganho (excetuando o caso em que a resistência é rompida, mas como M e m , no modelo, são fixos, não ocorre o rompimento dessas resistências).

Temos então a função dos investidores α , com base na divergência entre p e u . A função de excesso de demanda é chamada de $\alpha(p)$.

$$\alpha(p) = \begin{cases} a(u - p)f(p), & p \in [m, M] \\ 0 & , \quad p < m, p > M \end{cases} \quad (7)$$

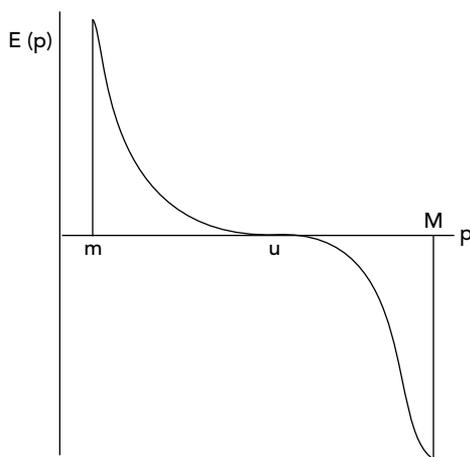
As propriedades da função $f(p)$ são as seguintes:

- a) Quando $p < u$, os investidores atuam comprando.
- b) Quando $p > u$, os investidores vendem.
- c) No caso de $p = u$, os investidores mantêm suas posições.
- d) $f(p) < 0$ para $m < p < u$, $f(p) > 0$ para $m > p > u$, $f(p) = 0$.

Assim, a demanda é monotonicamente decrescente, é máxima no fundo e então cai rapidamente nas proximidades de m , suavizando próximo a u e voltando a cair mais rapidamente nas proximidades do topo M .

Gráfico 1

Excesso de demanda por investimento



Fonte: Day e Huang (1990).

Formalizando:

$$\alpha(p) > 0;$$

$$m < p < u;$$

$$\alpha(p) < 0;$$

$$u < p < M;$$

$$\alpha(p) = 0;$$

$$p = u, p < m \text{ ou } p > M;$$

$$(p) < = 0;$$

$$m < = < = M.$$

Os investidores β apresentam grande diferença quanto ao seu comportamento em relação aos α , isso porque os últimos dispõem de recursos e informações a que os primeiros não têm acesso. Dessa forma, esses dois agentes, mesmo que ajam racionalmente, não agem da mesma maneira.

Os investidores β representam a maioria dos agentes. Eles utilizam basicamente regras simples e informações de baixo custo e fácil acesso. Da mesma maneira que os investidores α , os β querem ganhar o *spread* existente entre o valor esperado por eles e o preço corrente. Porém, diferentemente do tipo α , pela falta de recursos, eles não estimam o valor de longo prazo u , mas seguem uma regra adaptativa que indica que o valor u irá aumentar se ele vier aumentando e irá cair se ele vier caindo.

Considera-se a seguinte regra adaptativa para os investidores β :

$$u^s_{t+1} = p_t + \theta_1(v_t - u^s_t) + \theta(p_t - v_t) \quad (8)$$

em que: u^s_{t+1} = valor futuro estimado da ação no período seguinte; p_t = preço corrente da ação; v_t = valor corrente fundamental da ação; u^s_t = valor futuro estimado da ação no período atual.

O valor futuro esperado aumenta se o valor corrente dos fundamentos aumenta acima do que era esperado anteriormente, mas declina se o preço de mercado estiver abaixo do valor do fundamento quando o mercado precifica corretamente as informações futuras.

Simplificando o modelo, os autores consideram $\theta_1 = 0$, assim:

$$u^s_{t+1} = p_t + \theta(p_t - v_t) \quad (9)$$

Então, ao comprarem na alta e venderem na baixa, ao contrário dos investidores α , esses investidores se comportam como ovelhas, seguindo a tendên-

cia. Se o preço sobe, esperam que vá subir ainda mais e, se cai, esperam que vá cair mais ainda. De acordo com Day e Huang (1990, p. 305):

Como resultado, eles não tentam vender quando os preços estão subindo como um plano de investidor faz, nem desejam comprar quando os preços estão caindo. Em vez disso, de maneira característica eles entram no mercado quando os preços estão altos, sob a crença de que o mercado irá subir, e saem quando acreditam que o mercado irá cair. Isso significa que investidores despreparados perseguem preços acima e abaixo, gerando um mercado de touros e ursos.

A função dos investidores β é:

$$\beta(p) = \delta(u^s - p) = b(p - v) \quad (10)$$

O terceiro e último participante é o *market maker*. É ele que intermedeia as transações no mercado e “fixa” os preços com base nos excessos de demanda e oferta. Ao atuar no mercado com excesso de demanda, ele reduz seus estoques, e, quando há excesso de oferta, acumula estoques. Temos que ele apenas atua quando o mercado não está equilibrado.

O excesso de demanda corresponde à variação nos estoques do *market maker*, de modo que, se houver um excesso de demanda positivo, haverá redução nos estoques. A função de excesso de demanda é composta pela demanda dos investidores α e β .

$$E(p) = \alpha(p) + \beta(p) \quad (11)$$

A variação nos preços $\Delta p = (p_{t+1} - p_t)$ é determinada por uma função contínua e monotonicamente crescente $c\gamma[E(p)]$, na qual c é o coeficiente de ajustamento:

$$p_{t+1} = \theta(p_t) := p_t + c\gamma[E(p)] \quad (12)$$

Para simplificarmos, consideramos $\gamma[E(p)] = E(p)$. Temos então:

$$p_{t+1} = \theta(p_t) := p_t + cE(p) \quad (13)$$

É importante notar que o agente *market maker* irá comprar a um preço alto e vender a um preço baixo, dado que o excesso de demanda ocorre no fundo e o excesso de oferta no topo. Porém, o *market maker* não sai no prejuízo, pois recebe taxas e comissões pelas operações realizadas pelos investidores.

Temos então que a equação (13) anterior, de ajustamento de preços, depende de:

u = valor futuro estimado da ação;

M = valor do topo estimado;

m = valor do fundo estimado;

$f(\cdot)$ = parâmetros das funções de chance;

α = grau de força do investidor α ;

v = valor corrente fundamental da ação;

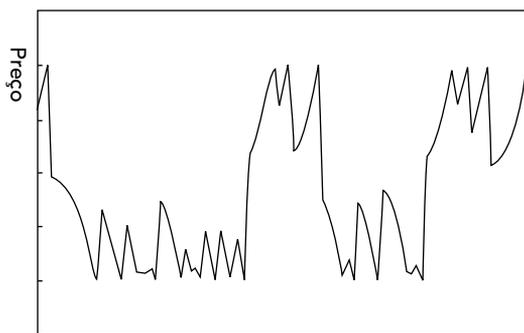
β = coeficiente de *flocking*;

c = coeficiente de ajustamento de preços.

Esses coeficientes são tidos como estáticos embora, na verdade, sejam variáveis ao longo do tempo. É evidente que novos acontecimentos (contratos assinados, descobertas, crises etc.) afetam, consideravelmente, o valor u das ações, de forma que os topos poderiam ser ascendentes, indicando uma tendência primária de alta, ou descendentes, indicando uma tendência primária de baixa. No caso do modelo, não há tendência primária alguma.

Gráfico 2

Excesso de demanda por investimento



Fonte: Day e Huang (1990).

O Gráfico 2 mostra a série de preços gerada pela simulação do modelo com a seguinte função e parâmetros:

$$f(p) := \begin{cases} 0, & p < m \\ (p - m + \varepsilon)^{-d_1} (M + \varepsilon - p)^{-d_2}, & m \leq p \leq M \\ 0. & p > M \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{array}{llll} u = 0,5 & M = 1 & m = 0 & \alpha = 0,2 \\ v = 0,5 & b = 0,88 & d_1 = d_2 = 0,5 & \varepsilon = 0,01 \end{array}$$

Conforme mencionado anteriormente, por não apresentar tendência alguma, o gráfico do preço das ações não se parece com gráficos típicos do mercado de ações, porém é possível notar claramente que o comportamento dos preços é errático. Os mercados altistas (*bull*) e baixistas (*bear*) variam de maneira aleatória. De acordo com Day e Huang (1990, p. 312): “*Ainda assim, simulações numéricas de mercado exibem uma característica saliente de informações reais do mercado de ações, especificamente flutuações irregulares ao redor de uma certa variação, isto é, a aparência de variações aleatórias entre mercados de ursos e touros*”.

Dados os resultados erráticos do modelo, procura-se verificar se tais resultados apresentariam alguma distribuição de probabilidade e se poderiam se comportar como processos estocásticos. Concluiu-se que, *ceteris paribus*, o modelo seria, de fato, capaz de gerar séries de preços com caráter estocástico.

O modelo possui alguns pontos de equilíbrio, os quais zeram o excesso de demanda, porém são, em geral, instáveis. Voltando à equação de excesso de demanda – $E(p) = \alpha(p) + \beta(p)$ –, temos que um preço p qualquer que satisfaça $E(p) = 0$ garantirá o equilíbrio, mesmo que momentaneamente. E de fato será um equilíbrio momentâneo se p , o valor da ação no momento, não igualar v , valor corrente fundamental da ação, de forma que $\alpha(p) \neq 0$, o que implica $p \neq u$. Se $p \neq u$, $p \neq v$ e o mercado está em equilíbrio, ou seja, o estoque do *market maker* não se altera, temos que um dos tipos de investidores (não importa qual, α ou β) terá uma demanda infinita por ações, ao passo que o outro terá uma oferta infinita. Tal situação não é factível, portanto não é um equilíbrio estável. Assim “no preço de equilíbrio de mercado $u =$ valores fundamentais correntes $=$ valor de investimento, $p = v = u$. Tal equilíbrio é único. Qualquer outro preço que satisfaça $(E(p) = \alpha(p) + \beta(p) = 0)$ é um preço de equilíbrio temporário” (DAY; HUANG, 1990, p. 316).

A discussão da estabilidade do equilíbrio passa pela relevância dos investidores β : caso sejam irrelevantes, ou até mesmo não existam, o equilíbrio é assintoticamente estável. Assim, a existência de caos somente poderia ser extrínseca. No caso em que tais investidores possuem destacada importância, o modelo gera sequências irregulares de mercados *bull* e *bear*, dentre as quais flutuações de curto prazo mais ou menos caóticas podem ocorrer.

No caso da irrelevância dos β , a condição para a estabilidade local do modelo é: $-1 < 1 + cE'(v) < 1$. Essa condição é violada quando os investidores α deixam de dominar o mercado, assim “O mecanismo de mercado é localmente expansivo próximo do equilíbrio. Qualquer trajetória de preço que passe perto do valor de equilíbrio seria impelida para fora, não importando quão frequente ou perto ela retornasse para aquela vizinhança” (DAY; HUANG, 1990, p. 317).

Os economistas geralmente supõem que, no longo prazo, os problemas relacionados às imperfeições de mercado “acabam”, ou seja, com o passar do tempo, os agentes ovelhas (β) se tornariam investidores sofisticados. Não seria correto, de acordo com a teoria econômica convencional, supor que esses agentes continuassem indefinidamente comprando ações a um alto preço e vendendo-as a um baixo preço. Ocorre, porém, que os investidores não estão necessariamente comprando por X e vendendo por Y , para $X > Y$. Quando eles compram no mercado altista, o preço geralmente sobe, o que representa ganhos de capital, e, quando vendem no mercado baixista, o preço geralmente cai, o que representaria perda de capital. Sendo assim, esse comportamento permite que os investidores β estejam, na maioria das vezes, “certos”. Dessa forma, o mercado acaba por reforçar esse comportamento de ovelha.

■ 4.1 Evidências empíricas

Vários trabalhos empíricos norte-americanos voltaram-se à questão dos testes do modelo de passeio aleatório. Embora os testes iniciais não fossem capazes de rejeitar tal hipótese, testes univariados mais potentes, desenvolvidos posteriormente, que analisam retornos em diversos horizontes de tempo apontaram no sentido da rejeição do modelo, com evidências de persistência nos retornos de curto prazo e de reversão à média nos horizontes de longo

prazo. Tais evidências apontavam no sentido de que os mercados não seriam eficientes na forma fraca, conforme a taxonomia de eficiência de Fama.

Scheinkman e LeBaron (1989) documentaram a existência de um sistema de dimensão fractal entre 5 e 6 para as taxas de rendimento do índice de ações CRSP2. Com base nesses resultados, esses autores concluíram que os rendimentos do índice em questão apresentavam sintomas de determinismo não linear ou caos. Por sua vez, Mayfield e Mizrach (1996) vieram mais tarde confirmar que a existência de baixa dimensão de correlação no índice Standard & Poors não era suscetível de ser explicada por processos Arma ou Garch. Peters (1991) observou a existência de caos nas cotações dos índices MSCI representativos dos mercados japonês, inglês, alemão e do Standard & Poors dos Estados Unidos. Brock (1987), Scheinkman e LeBaron (1989) e Willey (1992) obtiveram resultados semelhantes. Willey (1992) obteve resultados para a dimensão fractal e para o maior expoente de Lyapunov, consistentes com a existência de caos.

Em Portugal, Soares (1997 apud TOMÉ, 2003) constata que os rendimentos do índice PSI-20 apresentavam, no período em estudo, o típico aspecto leptocúrtico, caracterizado por elevados níveis de Kurtosis. Analogamente a estudos empíricos realizados em âmbito internacional, Soares (1997 apud TOMÉ, 2003) afirma que “este aspecto deriva da existência de dependência não-linear, uma vez que os modelos lineares são incapazes de explicar esta estranha forma das distribuições empíricas dos rendimentos das acções e dos índices”. Os testes para a existência de dependência não linear mostraram a existência significativa desse fenómeno. Brito (1998 apud TOMÉ, 2003) atesta a dimensão fractal do índice BVL de 1988 a 1997.

A incapacidade de previsão, independentemente da ferramenta utilizada, é algo presente tanto nos modelos de passeio aleatório quanto naqueles em que o caos está presente. Dessa forma, ao examinarmos uma série temporal, é de grande importância diferenciarmos a origem da imprevisibilidade da série.

Para detectar um processo caótico, inicialmente deve-se realizar o teste de Brock, Dechert e Scheinkman (estatística BDS), para rejeitar a hipótese nula de que os retornos obtidos no mercado são independente e identicamente distribuídos.

Além disso, sistemas caóticos diferem dos aleatórios pelo fato de os últimos possuírem dimensão infinita.

Todavia, a existência de dimensão finita não garante que estejamos perante um processo caótico. Para que um sistema seja caótico é também necessário que exista uma sensível dependência às condições iniciais para além da existência de uma baixa dimensão Fractal. A dimensão Fractal é medida no espaço de fase com o objetivo de determinar a complexidade do sistema gerador, estimando o número de variáveis que afetam a evolução futura do sistema (TOMÉ, 2003, p. 145).

Ao depararmos com uma série temporal, temos que essas variáveis são desconhecidas, de forma que apenas conhecemos a evolução de algumas delas.

Segundo Taramasco (1997), estamos perante um dado sistema dinâmico e de natureza determinístico-caótica se existe um atrator de dimensão finita (por exemplo, borboleta de Lorenz); caso contrário, estamos diante de um processo aleatório.

Quando se conhecem as equações do sistema, tudo fica mais simples. Basicamente, calculam-se os expoentes de Lyapunov (λ). O resultado de $\lambda > 0$, positivo, é necessário para a existência de um sistema caótico, pois isso nos garante sensibilidade às condições iniciais.

Segundo Tomé (2003), é essa estatística, λ , que afere a sensibilidade de variação ante o estado inicial do sistema. Ela indica as taxas médias de convergência e divergência das trajetórias. E por último, o inverso do expoente de Lyapunov é capaz de fornecer capacidade de previsão do sistema.

5 CONCLUSÃO

Com base no que foi exposto neste trabalho, podemos concluir que, de fato, o mercado de capitais apresenta considerável imprevisibilidade. Atualmente, os modelos tradicionais se baseiam na HME, ou seja, os retornos dos mercados financeiros seguem um processo estocástico e aleatório. Essa hipótese é questionada por autores tanto em nível teórico, por causa da assimetria de informações, quanto empírico, já que processos determinísticos, como o

modelo apresentado neste trabalho, podem gerar comportamentos “estocásticos”. A existência de um processo determinístico acaba por comprometer a veracidade dos principais modelos de precificação e avaliação de ativos, que constituem um dos pilares da teoria econômica convencional.

No que diz respeito à HME, a negação desta parece ainda mais forte para países emergentes. A imperfeição dos mercados financeiros seria maior nesses países. Além da mudança no humor dos investidores, há o efeito contágio e comportamento de manada (*herd behavior*). Segundo Grenville (2000), esses países apresentam poucos especuladores estabilizantes (no sentido de Friedman) que atuam no sentido oposto ao mercado; seus mercados possuem uma mentalidade de manada e, além disso, exibem fluxos de capitais extremamente mais voláteis do que os de economias desenvolvidas.

É, contudo, recomendada cautela tanto para afirmar quanto para negar a abordagem tradicional de avaliação de ativos financeiros, pois os resultados acerca desse tema ainda são pouco conclusivos. Conforme vimos, há estudos que encontram padrões caóticos e outros que constataam processos estocásticos. Assim, há casos em que se prova a existência de caos, enquanto, noutros, isso não ocorre. Dessa forma, apesar de ser uma linha de pesquisa que vem avançando muito nos últimos anos, continua ainda com sua questão central em aberto.

No presente artigo, buscou-se apresentar uma visão alternativa à teórica dos mercados eficientes, no que tange aos preços dos ativos no mercado financeiro. Porém, essa visão alternativa conhecida como caos determinístico ainda se encontra em desenvolvimento, tornando difícil a tarefa de corroborá-la. Acreditamos que a contribuição do trabalho consiste em servir como um objeto de referência ao debate acerca do assunto, para posteriores trabalhos teóricos ou empíricos.

Referências

- BROCK, W. Distinguishing random and deterministic systems: Abridged version. *Journal of Economic Theory*, Ithaca, n. 40, 1987.
- CARVALHO, F. C. et al. *Economia monetária e financeira: teoria e política*. São Paulo: Campus, 2001.
- CAVALCANTE, J. A propriedade de longa memória na volatilidade dos retornos do Ibovespa. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 27, 2007.

- DAY, R. H.; HUANG, W. Bulls, Bears and Market Sheep. *Journal of Economic Behavior and Organization*, North-Holland, v. 14, n. 3, p. 299-329, Dec. 1990.
- FAMA, E. F. Random walks in stock market prices. *Financial Analysts Journal*, Charlottesville, v. 51, n. 1, p. 75, Jan./Feb. 1995.
- FRENCH, R. J.; SCHWERT, G. W.; STAMBAUGH, R. F. Expected stock returns and volatility. *Journal of Financial Economics*, Rochester, n. 19, 1987.
- GRENVILLE, S. Exchange rate regimes for emerging markets. *Reserve Bank of Australia Bulletin*, p. 53-63, Nov. 2000.
- HSIEH, D. Testing for nonlinearity in daily foreign exchange rate changes. *Journal of Business*, Chicago, n. 68, 1989.
- LINTNER, J. The valuation of risk assets and the selection of risk investments in stock portfolios and capital budgets. *Review of Economics and Statistics*, Cambridge, v. 47, n. 1, 1965.
- LUCAS, R. E. Jr. Asset prices in an exchange economy. *Econometrica*, Econometric Society, USA, v. 46, n. 6, p. 1429-1445, Nov. 1978.
- MAYFIELD; MIZRACH. On determining the dimension of real-time stock-price data. *Journal of business & Economic Statistics*, Alexandria, USA, v. 10, p. 367-374, 1996.
- MCLEOD, A. J.; LI, W. K. Diagnostic checking ARMA times series models using squared residuals correlations. *Journal of Time Series Analysis*, n. 73, 1983.
- PETERS E. *Chaos and Order in the Capital Markets*. USA: John Willey & Sons, 1991.
- POINCARÉ, H. *Science and method*. New York: Dover Press. 1952.
- SCHEINKMAN, J. A.; LEBARON, B. Nonlinear dynamics and stock returns. *Journal of Business*, Chicago, v. 62, n. 3, p. 311-337, 1989.
- SEWELL, S. P. et al. Nonlinearities in emerging foreign capital markets. *Journal of Business Finance & Accounting*, n. 20, 1993.
- SHARPE, W. F. Mutual fund performance. *Journal of Business*, Chicago, v. 39, n. 1, 1966.
- SMITH, C. W. The theory of corporate finance: a historical overview. *Rochester Management Journal*, Rochester, v. 2, n. 2, 1984.
- TOMÉ, F. J. S. Caos e métodos não lineares no mercado financeiro. *Millenium*, Viseu, n. 28, 2003.
- TARAMASCO, O.; J-P. I. Les rentabilités à la Bourse de Paris sont-elles chaotiques? *Revue Economique*, Paris, n. 2, p. 215-238, 1997.
- TORRES, R.; BONOMO, M.; FERANANDES, C. A aleatoriedade do passeio na Bovespa: testando a eficiência do mercado acionário brasileiro. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v. 56, n. 2, 2002.
- WILLEY, T. Testing for nonlinear dependence in daily stock indices. *Journal of Economics and Business*, n. 44, p. 63-74, 1992.