

Teorias do Caos e da Complexidade: Um novo paradigma do Mercado Financeiro?

Autores	Email
Carlos José Guimarães Cova	cjcova@terra.com.br
Maurício Corrêa de Souza	mauriciocsouza@yahoo.com.br
Walter Duarte de Araujo	wdaraujo1@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste artigo é verificar se há evidências de que os arcabouços teóricos das Teorias do Caos e da Complexidade constituem-se em um corpo doutrinário com densidade capaz de alterar convicções do paradigma dominante na Moderna Teoria Financeira, cujas premissas atendem aos ensinamentos da Hipótese dos Mercados Eficientes. Para tanto, caracterizamos a Hipótese dos Mercados Eficientes, destacando as principais críticas dirigidas aos seus pressupostos, e discorremos sobre a abordagem diferenciada sugerida pelas Teorias do Caos e da Complexidade, cujas premissas apresentam maior consonância com a realidade observada no Mercado Financeiro. Em seguida, exemplificamos alguns Sistemas Complexos Adaptativos, suas características e suas propostas para explicar o mercado, com ênfase na Estrutura Fractal. Ao final da pesquisa, concluímos que a fragilidade dos pressupostos da Hipótese dos Mercados Eficientes revela expressiva inconsistência na Moderna Teoria Financeira, abrindo espaço para o surgimento de um paradigma alternativo mais apropriado para explicar a realidade do Mercado Financeiro, que são as Teoria da Complexidade e do Caos, confirmando a suposição inicial dos autores.

Palavras-Chave: Teoria do Caos; Teoria da Complexidade; Moderna Teoria Financeira.

1. O PROBLEMA DA PESQUISA

As técnicas tradicionais de avaliação de carteira, avaliação de risco e de precificação de ativos, sejam estas matemáticas ou gráficas, estão pautadas na premissa da Hipótese de Mercados Eficientes. Uma observação mais apurada mostra que existem descasamentos entre o movimento real do mercado e a expectativa teórica pautada por análises tradicionais.

Estas oscilações, entre o comportamento esperado e o ocorrido, nos levam a crer, inicialmente, que existem fatores exógenos às simples relações estatísticas entre preços de um ativo e sua correlação com outros ativos e índices.

Estas distorções também podem ser constatadas por meio da verificação das falhas na repetição de padrões nos ciclos do comportamento de ativos, nos quais eventualmente os padrões gráficos presentes no passado se reproduzem da mesma forma no presente, permitindo que surjam diversas sinalizações de tendências. Atualmente, as previsões no Mercado Financeiro são realizadas por meio da Análise Técnica (fundamentada na Teoria de Dow), assim como previsões de Análises Fundamentalistas (baseadas em análises de informações e demonstrações financeiras). Contudo, os fatos demonstram que os modelos de previsão têm falhado recorrentemente, em virtude de não mostrarem uma boa aderência ao comportamento dos preços no mundo real, ou seja, por mais elaborados que sejam os modelos, ainda não conseguem refletir com eficácia a realidade intratável que pretendem estilizar.

Não obstante, existe uma corrente de pensamento que supõe ser o campo de conhecimento relativo às teorias do Caos e da Complexidade, associado às Finanças Comportamentais, capaz de nos ajudar a entender melhor os elementos que provêm

dinamismo ao mercado, assim como nos auxiliar na busca da predição do comportamento de séries temporais de dados.

Nesse sentido, Soros (2008) nos oferece uma importante contribuição para a compreensão de parte da complexidade evidenciada pelo comportamento dos mercados, já que tenta, já há a algumas décadas, confrontar o *mainstream* do pensamento econômico. Entretanto, sua concepção acerca da dinâmica de funcionamento dos mercados encontra um forte preconceito no meio acadêmico. Não obstante, conforme procuramos demonstrar, suas explicações possuem uma coerência lógica que não desabona academicamente a construção idealizada. Soros inicia suas explanações com uma forte declaração, realizada no bojo dessa crise financeira que se manifesta nos mercados desde o evento dos títulos *subprime*, em agosto de 2007, que se *agudizaram* ao longo de todo o ano de 2008: “Não podemos nos furtar à conclusão de que tanto as autoridades financeiras quanto os participantes do mercado têm ideias fundamentalmente erradas sobre o funcionamento dos mercados. Essas ideias se manifestam não apenas como incapacidade de entender o que está acontecendo; também são a causa dos excessos que estão na raiz do presente caos nos mercados financeiros.”

Soros procura demonstrar que o sistema financeiro global foi construído com base em premissas falsas. Tal proposição é aparentemente chocante, conforme diz Soros, mas ela é inerente a todos os constructos humanos. Essa análise está fundamentada no fato de que a compreensão que o homem possui acerca do universo é imperfeita, pelo fato de que ele é parte desse mesmo universo que tenta compreender. Assim, segundo Soros, os agentes econômicos, devidamente municiados com seus conhecimentos imperfeitos, interagem com a realidade de duas formas:

- a partir de uma tentativa de compreender o mundo em que vivem, fato que ele denomina função cognitiva; e
- por meio da tentativa de causar impacto no mundo, por ele denominada como sendo a função manipulativa.

A ideia de que essas funções pudessem operar isoladamente atenderia perfeitamente os objetivos de um investigador da realidade, pois seus entendimentos acerca dela poderiam ser qualificados de conhecimento e suas ações poderiam ter o resultado que ele pretendesse.

A questão que se apresenta decorre do fato de que essas duas funções operam de forma simultânea e interferem uma na outra. Para que a função cognitiva possa gerar conhecimento, ela deve considerar os fenômenos sociais como entidades independentes, pois dessa forma esses fenômenos se qualificam em fatos aos quais as observações efetuadas podem corresponder. Analogamente, as decisões devem se basear no conhecimento para atingir os resultados pretendidos. Quando essas funções atuam de forma interdependente, o fenômeno deixa de se constituir exclusivamente de fatos e também passa a incorporar as intenções e expectativas sobre o futuro. O passado é passível de determinação, mas o futuro vai depender das esperanças dos atores envolvidos no contexto. Assim, esses agentes não são capazes de basear suas decisões no conhecimento, pois devem lidar com dados do presente, do passado e ainda com possibilidades que dizem respeito ao futuro. O impacto das intenções e das expectativas acerca do futuro nos fenômenos sociais cria uma relação de dupla via entre o pensamento dos agentes e a situação da qual eles participam. Este fato acarreta um efeito deletério para ambos, pois introduz um elemento de incerteza no curso dos acontecimentos e impede que as percepções dos participantes possam ser qualificadas de conhecimento.

Soros designou essa interferência de dupla via como sendo o fenômeno da reflexividade. As situações reflexivas são caracterizadas pela ausência de correspondência entre as visões dos participantes acerca da realidade e o real estado da natureza. Tal consideração nos remete à reflexão acerca de nossas limitações de percepção e mesmo de

compreensão de uma realidade complexa que nos envolve. Assim, a análise de comportamento de séries de retornos e de volatilidade desses retornos pode ser carregada desses vieses de percepção.

Corroborando essas considerações sobre o comportamento dos mercados, vemos em Taleb (2007), ainda que de uma maneira menos formal, uma convergência de pensamento com as proposições de Soros. Esse autor designa por platonismo a tendência que os indivíduos possuem de acreditar que compreendem mais do que realmente compreendem. Isso não quer dizer que os modelos e construções, ou seja, os mapas intelectuais da realidade estejam sempre errados. Eles estariam errados apenas em algumas aplicações específicas. O problema decorre do fato de que não se sabe de antemão onde esses mapas estariam errados, pois isso o erro só seria conhecido após sua manifestação, sendo agravado pelo fato de trazer consigo conseqüências penosas. Taleb designa esse evento como sendo uma dobra platônica, que representa a fronteira na qual a mente platônica entra em contato com a realidade confusa.

Taleb propõe que a mente humana é afetada por três problemas quando entra em contato com a história: a ilusão da compreensão; a distorção retrospectiva; e a supervalorização da informação factual.

A ilusão da compreensão é a tendência dos indivíduos a acreditarem que compreendem um mundo que é mais complexo do que são capazes de perceber. A distorção retrospectiva decorre da percepção de que apenas é possível abordar determinado assunto após o mesmo ter ocorrido, o que faz com que a história pareça mais clara do que a realidade empírica. A supervalorização da informação factual ocorre porque os agentes que acumulam determinados conhecimentos tentem a incluí-los em categorias, distorcendo a visão do conjunto.

O problema que se apresenta neste trabalho consiste em responder a seguinte indagação: existem evidências de que as Teorias do Caos e da Complexidade constituem-se em um corpo doutrinário capaz de alterar convicções do paradigma dominante na Teoria Financeira?

A suposição inicial dos autores aponta para a existência de inconsistências no paradigma atual regido pela Moderna Teoria Financeira, manifestas pela comprovação empírica e pela abordagem diferenciada sugerida pelas Teorias do Caos e da Complexidade, constituindo-se em uma alternativa mais aderente à realidade.

2. A VIOLAÇÃO DA HIPÓTESE DOS MERCADOS EFICIENTES

A Hipótese dos Mercados Eficientes (HME) foi acolhida majoritariamente pelo *mainstream* dos doutrinadores de Finanças Corporativas e Mercados Financeiros. Esta hipótese está fundamentada numa simplificação da realidade, que, uma vez acolhida, torna confortável a análise. Fama *et alii* (1972) estabeleceram as seguintes hipóteses (condições suficientes para que exista um mercado eficiente):

- (i) Não existência de custos de transação;
- (ii) Todas as informações estão disponíveis a todos os investidores a um custo zero; e
- (iii) Todos os investidores concordam sobre as implicações das informações atuais sobre os preços atuais e sobre a distribuição dos preços futuros de cada ativo, ou seja, os investidores têm expectativas homogêneas.

De acordo com este pensamento, o mercado é capaz de transmitir imediatamente para os preços dos ativos todas as informações relevantes. Contudo, não seria possível prever um movimento de preços no futuro, porque até uma eventual tendência já estaria refletida nos

preços correntes. Assim, uma variação de preços no futuro, para mais ou para menos, teria a mesma probabilidade de ocorrer que um movimento no sentido contrário, configurando um passeio aleatório. Segundo Damodaran (1997):

“a eficiência do mercado não exige que o preço de mercado seja igual ao valor real a cada instante. Tudo que requer é que os erros no preço de mercado não sejam tendenciosos, ou seja, que os preços possam ser maiores ou menores do que o valor real desde que estes desvios sejam aleatórios. Isso implica que, de uma maneira grosseira, haja uma probabilidade igual de que uma ação esteja sub ou superavaliada em qualquer instante de tempo, e que estes desvios não sejam correlacionáveis com qualquer variável observável (...) e que nenhum grupo de investidores seja capaz de consistentemente encontrar ações sub ou supervalorizadas utilizando qualquer estratégia de investimento”.

Galvão *et alii* (2006) assinalam que o paradigma tradicional da HME que explica o comportamento dos mercados financeiros está baseado na suposição de que o comportamento dos preços segue um comportamento de processo estocástico de tempo contínuo denominado processo de Wiener, que possui 3 importantes propriedades:

- a distribuição de probabilidade de valores futuros depende apenas dos valores presentes;
- os incrementos são independentes entre si; e
- as variações de preços dentro de um intervalo obedecem a uma distribuição normal e não possuem relação entre si, de forma que o seu conjunto compõe uma seqüência de variáveis aleatórias independentes com semelhante distribuição.

Não foi difícil associar estas distribuições de probabilidades à distribuição gaussiana, ou normal, pois a própria noção do Teorema Central do Limite permite que seja feito esse direcionamento. Assim, se os preços seguem um passeio aleatório, as chances de uma antecipação correta de seus movimentos são de 50%, ou seja, tanto se pode perder em metade das vezes, quanto se pode ganhar, na outra metade. Isto faz com que uma estratégia de gestão de carteiras seja inócua, devendo o gestor apenas se conformar em buscar uma posição que maximize a *performance* de risco e retorno, devendo a partir daí, manter-se nessa posição e deixar que o crescimento natural do mercado no longo prazo se encarregue de recrudescer o volume de riqueza.

Faz-se curioso observar, conforme nos informa Gleiser (2002), que o precursor do uso de modelos estocásticos para analisar os preços de ativos foi Louis Bachelier, um matemático francês, em sua tese de doutorado intitulada *Théorie de la Speculation*, defendida em 1900. Suas conclusões ficaram esquecidas por décadas, até que os modelos estocásticos foram introduzidos no estudo da econometria e sua proposta foi incluída na agenda das ciências econômicas. Dentre as hipóteses nas quais Bachelier fundamentava sua teoria dos movimentos de preços, destacam-se:

- (1) as variações sucessivas dos preços são independentes;
- (2) os preços seguem um comportamento característico de mercado perfeito; e
- (3) os preços competitivos seguem um passeio ao acaso.

Não obstante, a Hipótese dos Mercados Eficientes tem sido contestada com bastante veemência em razão de seu falseamento empírico recorrente. Ainda Gleiser registra que Benoit Mandelbrot, um matemático que se especializou na Teoria dos Fractais, observou que

o comportamento dos preços nos mercados financeiros não obedecia aos padrões esperados de uma distribuição de probabilidade “bem comportada”.

Os testes empíricos que não comprovam a eficiência do mercado evidenciam fenômenos genericamente denominados de anomalias, tais como o Efeito Fim de Semana, o Efeito Janeiro, distorções com base no índice Preço/Lucro, distorções com base no índice Preço/Valor Contábil e o Efeito Tamanho. Cada uma dessas anomalias viola a HME em um caso específico e, portanto, convencionou-se assim denominá-las e não invalidar toda a teoria. Esse processo é similar ao descrito por Kuhn (2003) em que o patrimônio de conhecimento adquirido resiste a mudanças bruscas, até que se torne efetivamente insustentável e surjam alternativas mais apropriadas para explicar os fenômenos empíricos.

A Moderna Teoria Financeira se fundamenta na suposição de que os preços não são previsíveis, mas suas flutuações podem ser descritas por leis matemáticas da probabilidade e, sendo assim, o risco seria mensurável e gerenciável. O problema reside no fato de que esta suposição considera que a curva normal seria capaz de descrever com perfeição o comportamento das variações dos preços nos mercados financeiros, e que estas variações seriam independentes umas das outras.

Mandelbrot identificou várias inconsistências na Hipótese dos Mercados Eficientes. Ele observou os movimentos diários do *Dow Jones Industrial Average* e constatou que suas variações de preços não tinham aderência a uma curva normal, pois as extremidades da distribuição registravam grande quantidade de variações intensas. Se a distribuição fosse normal, aplicando-se a teoria, variações do índice superiores a 3,4% apenas poderiam ocorrer num total de 58 dias durante todo o período considerado. Não obstante, registraram-se variações dessa ordem em 1001 dias. Outra constatação mais dramática: oscilações diárias acima de 7% apenas poderiam ocorrer a cada 300.000 anos, mas no século XX foram registradas 48 ocorrências com esta magnitude! Tais ocorrências, longe de justificarem empiricamente uma distribuição normal, evidenciavam que os movimentos de preços obedeciam a uma espécie de “Lei de Potência”, ou seja, eles evidenciavam variações para mais ou para menos com uma distribuição de frequência de curta e elevada.

Mandelbrot também fez duras críticas ao modelo original desenvolvido por Bachelier, em virtude de os dados analisados terem sido insuficientes para qualquer generalização, bem como pelo fato de os preços evidenciarem descontinuidades. Mandelbrot alega, entre outros motivos, que ocorrem alterações nas variáveis que formam o preço quando as negociações em bolsa permanecem fechadas, de forma que, quando o mercado é novamente aberto, podem ocorrer variações bruscas que traduziriam uma descontinuidade na série de preços.

Mandelbrot vai além das críticas ao modelo de Bachelier. Ele acusa alguns economistas de enquadrarem (a despeito das evidências contrárias) as séries de preços de ativos aos comportamentos gaussianos. Para conseguir seu intento, esses economistas adeptos da distribuição normal se valeriam de três métodos:

- 1º - separar as grandes variações de preços, que podem causar descontinuidades na série, sob a alegação de serem componentes não estocásticos, ao passo que as pequenas variações seriam analisadas como obedecendo a um comportamento gaussiano;
- 2º - empregar transformações lineares (soma e multiplicação) ou não lineares (por exemplo, a logaritmização) nas variáveis, de tal forma a encaixá-las no contexto gaussiano; e
- 3º - considerar que os preços obedecem a um processo estocástico, só que com parâmetros incontroláveis, de forma a tornar o modelo *ad hoc* e incontestável.

O problema presente nos modelos derivados de Bachelier consiste na necessidade de supor que a média e a variância dos preços são finitas e estáveis. Para Mandelbrot, a natureza dos preços é não-estacionária e, conseqüentemente, sua variância é infinita, o que permite sugerir uma distribuição de probabilidade na qual os eventos pudessem evidenciar flutuações bruscas e descontínuas, bem como tendências e ciclos, de forma a permitir explicar fenômenos tais como as crises da bolsa em 1929 e 1987 (e, mais recentemente, 2008).

Gleiser (2002) afirma que, atualmente, é bastante aceito o fato de que as distribuições de probabilidades de ativos financeiros são leptocúrticas, ou seja, têm média alta e caudas largas. Atribui-se a presença de caudas largas ao fato de que as informações que movimentam os preços no mercado surgem em blocos, e não de forma contínua. Isso faz com que as grandes variações de preços ocorram em pequenas quantidades de intensas magnitudes. Em oposição, numa distribuição normal, uma grande variação ocorre devido a uma grande quantidade de pequenas variações. Uma vez que a distribuição de informações é leptocúrtica, a distribuição das variações de preços também deve ser.

O advento da admissibilidade das caudas largas para as técnicas aplicadas em finanças gerou uma grande implicação para a gestão do risco, em especial seu monitoramento e controle. Caso as caudas largas reflitam melhor o comportamento das variáveis financeiras, a probabilidade de eventos extremos pode ser muitas vezes maior do que com a distribuição normal. Nesse caso, a variância pode ser um indicador inadequado e potencialmente danoso, quando se deseja medir o risco de um portfólio de ativos.

Peters (1991) explica que as caudas largas decorrem da forma pela qual os investidores reagem às informações. Se os investidores reagissem imediatamente às novas informações com que se deparassem, os preços refletiriam imediatamente essas informações, de forma que os eventos passados não teriam influência sobre os exemplos futuros. Porém, se os investidores esperarem que essas informações se transformem em tendências de mercado, ou seja, se eles esperarem para descobrir o que os demais investidores farão diante dessas informações, elas passam a ter um período de memória, demorando um tempo para perder efeito. Este tempo de espera é o que causa viés no suposto passeio aleatório, fazendo com que a ocorrência passada acabe influenciando os acontecimentos futuros. Isso significa que um modelo estocástico estacionário, nos quais sempre as mesmas variáveis são relevantes, não traduzem a melhor forma de se modelar o mercado.

Essa forma irregular com que os agentes econômicos assimilam as informações, postergando a tomada de decisão até que novas tendências apareçam com mais nitidez, pode acarretar um viés no passeio aleatório. Esses comportamentos de passeios aleatórios enviesados foram extensamente estudados por Hurst, na década dos anos 1940, e por Mandelbrot, nas décadas dos anos 1960 e 1970. Gleiser (2002) lembra que as distribuições de probabilidade derivadas das séries temporais estudadas foram denominadas por Mandelbrot como sendo distribuições fractais, por serem estatisticamente auto-similares em relação ao tempo.

3. ASPECTOS CARACTERIZADORES DA COMPLEXIDADE E CAOS

A abordagem de alguns problemas mais difíceis e fascinantes que desafiam a compreensão dos pesquisadores está empregando uma nova disciplina: a Teoria dos Sistemas Complexos. Em campos tão distintos quanto a origem da vida, a evolução das espécies, o funcionamento do sistema imunológico e o funcionamento do sistema nervoso central verificam-se algumas características comuns. Será que de fato existiriam essas características comuns? Existiriam leis universais de complexidade? A Tabela 1 apresenta algumas das características dos sistemas complexos que podem ser encontrados, por exemplo, no comportamento de preços de ativos nos Mercados Financeiros.

Tabela 1: Sistemas Complexos Adaptativos

Característica	Descrição
Sistema dinâmico	Está em evolução constante e é formado por um grande número de unidades, que interagem com certo número de outras unidades. É aberto e não linear. Cada unidade produz uma resposta aos sinais que recebe de outras, que não é proporcional ao estímulo recebido, e que pode ser excitatório ou inibitório.
Frustração	Considerando-se que os sinais recebidos de unidades diferentes podem ser contraditórios, as respostas não satisfarão a todas as entradas, frustrando algumas delas.
Aprendizado	O sistema é adaptativo em sua constante evolução, em função da experiência adquirida por sua interação com o ambiente. É a sua mais importante característica e a que torna mais difícil o tratamento matemático, pois a própria arquitetura do sistema também vai mudando, à medida que ele evolui.
Aleatoriedade	Algumas características do sistema são distribuídas ao acaso.
Ordem emergente	O sistema se auto-organiza de forma espontânea, criando ordem a partir de um estado desordenado.
Hierarquia	O sistema evidencia uma hierarquia entre suas partes inter-relacionadas.
Atratores múltiplos	Um atrator de um sistema dinâmico é uma situação para a qual muitos de seus possíveis estados iniciais tendem, após um tempo suficientemente longo.
Quebra de ergodicidade	Caracteriza-se pelo fato de que o sistema pode ficar num determinado estado por bastante tempo, deixando de visitar outros estados da natureza. Seu comportamento mostra histerese, ou seja, dependência da história anterior.
Propriedades coletivas emergentes	Decorrem de múltiplas interações locais entre as unidades que formam o sistema, que passam por diferentes configurações, por meio de efeitos de competição e cooperação, e são qualitativamente novas, próprias do sistema como um todo.
Estrutura fractal	São estruturas geométricas de dimensão fracionária, que possuem auto-similaridade em todas as escalas. Isso faz com que ocupem uma dimensão maior do que uma curva usual, de dimensão unitária, porém menor do que uma área, bidimensional.
Sensibilidade às condições iniciais	Um desvio pequeno das condições iniciais pode ser amplificado exponencialmente pela evolução do sistema, produzindo um resultado muito diferente.

Fonte: Adaptado de Nussenzveig (1999).

De acordo com Gleiser (2002) os termos Caos e Complexidade são fenômenos interconectos, contudo distintos. Há um amplo debate com relação ao significado técnico e o campo de influência dos dois fenômenos. Alguns sugerem que o Caos é uma teoria geral que engloba o estudo dos sistemas complexos. Outros argumentam exatamente o contrário, ou seja, que a Teoria do Caos é uma aplicação específica de uma teoria mais abrangente, que estuda os sistemas dinâmicos, denominada como a Ciência da Complexidade. Outros não vêem qualquer distinção entre os dois termos. A definição mais aceita pelos pensadores é a de que os dois fenômenos são complementares, haja vista que o estudo da Complexidade é o oposto do estudo do Caos.

A Complexidade compreende o estudo de como um sistema de equações muito complicadas pode gerar padrões de comportamento relativamente simples para determinados valores dos parâmetros. Por sua vez, a Teoria do Caos estuda como equações não-lineares simples podem gerar um comportamento complexo. Dessa forma, verifica-se que o Caos não é equivalente à Complexidade. Os fenômenos complexos ocorrem exatamente no ponto crítico onde a transição para o caos se manifesta. Diz-se que um sistema em estado complexo está no limiar do Caos (*The Edge of Chaos*), na borda entre um comportamento periódico previsível e o comportamento caótico.

A Ciência da complexidade tenta encontrar o que há de comum entre questões dos mais diversos campos de atuação humanos. Gleiser (2002) lembra que Mitchell Waldrop inicia o seu livro *Complexidade, A Ciência Emergente no Limiar da Ordem e do Caos 2*, com algumas perguntas que devem nos levar a refletir, tais como:

- Porque a Bolsa de Valores americana caiu mais de 500 pontos em um único dia, na famosa segunda-feira negra de Outubro de 1987?
- Como a sopa primordial de aminoácidos e outras simples moléculas se transformaram na primeira célula viva há aproximadamente quatro bilhões de anos atrás?
- Por que as células individuais começaram, há cerca de 600 milhões de anos atrás, a formar alianças que dariam origem a organismos multicelulares tais como algas marinhas, insetos e eventualmente seres humanos?
- Será que a incrível e precisa organização encontrada nas criaturas vivas é somente resultado de meros acidentes evolutivos? Ou será que havia algo mais acontecendo nestes últimos quatro bilhões de anos, algo que Darwin não sabia?
- Afinal de contas, o que é a vida, e o que é a mente?

O referido autor nos diz que a resposta para estas perguntas é: “ninguém sabe”. O que se sabe é que os exemplos ora citados são casos de sistemas complexos onde grande número de agentes independentes interagem ativamente.

O fato é que essas inovações conceituais estão cada vez mais encontrando um fértil campo de aplicação nas operações com ativos nos Mercados Financeiros. Ruggiero (1997) registra o emprego de uma série de instrumentos de *trading* baseados em novos desenvolvimentos no campo dos sistemas complexos.

Um dos instrumentos para a tomada de decisão de compra e de venda de ativos está baseado em redes neurais artificiais. Uma rede neural artificial, tal como o cérebro humano, é composta por neurônios e sinapses. Os neurônios são os instrumentos de processamento do cérebro e as sinapses os conectam. Nessa rede neural simulada, os neurônios são chamados de nós, constituindo elementos simples que juntos adicionam valores de entrada multiplicados por coeficientes associados a eles, denominados pesos. Esses dados de entrada são associados

a regras de decisão. As funções de decisão transportam esses valores para as regras de tomada de decisão.

Outra aplicação de modelos baseados em sistemas complexos são as operações de *trading* por meio do uso de Ondas de Elliott. Gleiser (2002) nos traz um relato da trajetória de Elliott. Em 1938, Ralph N. Elliott (1871-1948), um especialista em administração de cafeterias que havia estudado os segredos da Grande Pirâmide e as profecias de Melchi-Zedek, patenteou o que imaginava ser uma grande descoberta: o Princípio da Onda, que afirmava que todas as atividades humanas se davam em cinco ondas do mesmo formato que se repetiam em escalas cada vez menores. Elliott aplicou sua teoria a diversas áreas em economia e finanças, sendo até hoje empregada por muitos *traders* no mercado financeiro para tentar prever o seu comportamento.

Ruggiero (1997) registra que a teoria das ondas de Elliott é baseada na premissa de que os mercados se movem por meio de relações e padrões que refletem a natureza humana. O modelo clássico de padrões de ondas de Elliott consiste em dois diferentes tipos de ondas: uma seqüência de cinco ondas, chamadas de ondas de impulso e uma seqüência de três ondas, chamadas de ondas corretivas.

Assim como as redes neurais e as ondas de Elliott, muitos sistemas complexos adaptativos têm sido aplicados aos diversos campos do conhecimento, obtendo desempenho superior para explicar seus fenômenos. Dentre os diversos sistemas, o que tem apresentado maior pertinência e aplicação no comportamento do Mercado Financeiro é a Estrutura Fractal.

3.1. A TEORIA FRACTAL

Passemos a caracterizar as estruturas fractais às quais se referiu Mandelbrot. Segundo Berti (2008), “Fractais - do latim *fractus*, fração, quebrado - são figuras da geometria não-Euclidiana”. Em Nussenzveig (1999) encontramos o registro de que os fractais são conjuntos cujas formas são bastante irregulares ou fragmentadas e que possuem a mesma estrutura em todas as escalas. As principais propriedades que caracterizam e permitem definir os conjuntos fractais são:

- (1) a auto-similaridade, que pode ser exata ou estatística, ou seja, o sistema é invariante (mantém a mesma forma e estrutura) quando submetido a uma transformação de escala (uma transformação que diminui ou amplia um objeto ou parte dele);
- (2) a existência de extrema irregularidade no sentido da rugosidade (não suavidade) ou fragmentação; e
- (3) possuir, em geral, uma dimensão fractal não inteira.

Conforme ensina Peters (1991), o desenvolvimento da geometria fractal tem sido uma das descobertas mais úteis e fascinantes do século XX na área da matemática. Com os fractais, os matemáticos criaram um sistema que descreve as formas naturais em termos de algumas regras simples. A complexidade emerge dessa simplicidade. Os Fractais fornecem uma estrutura para a complexidade dos sistemas complexos e proporcionam beleza ao caos. A constatação da existência de sistemas dinâmicos não lineares aumenta o interesse por fractais. A maioria das formas naturais e das séries temporais são mais bem descritas por meio de fractais.

Peters (1994) faz menção ao trabalho de West e Goldberger, que tratam de estudos sobre estruturas em forma fractal, presentes no pulmão de mamíferos, geradas pela natureza, afirmando serem estas mais tolerantes a erros em sua criação que estruturas simétricas.

Não obstante, se adaptarmos esse conceito a partir de uma estrutura estática (do pulmão) para uma estrutura dinâmica, como o mercado de ações, é possível verificar alguns aspectos interessantes com relação ao “horizonte de investimento”. O mercado é composto de investidores, que variam seus perfis do curto ao longo prazo. Cada um tem um horizonte de investimento diferente dos demais, os quais podem ser ordenados no tempo.

Um mercado estável é aquele em que todos os participantes podem negociar um com o outro, cada um enfrenta o mesmo nível de risco dos outros, ajustados para a sua escala de tempo ou horizonte de investimento. Constatamos que a distribuição de frequência dos retornos é a mesma para os investidores que fazem seus trades diariamente, semanalmente ou trimestralmente, uma vez que um ajuste é feito por escala. Ou seja, *traders* que fazem operações a cada cinco minutos enfrentam o mesmo risco que *traders* que mudam suas posições semanalmente. Mesmo que os *traders* percebam uma queda em sua escala de tempo, como um evento de quatro sigmas, o mercado pode permanecer estável para outros *traders* que possuam horizontes de tempo diferentes, os quais vêem esta falha como uma oportunidade de compra. Assim, o mercado permanece estável porque não tem escala de tempo de característica geral, assim como o pulmão não tinha escala de diâmetro característico. Quando reduz o mercado seu horizonte de investimento, todos se tornam investidores de curto prazo (investidores que perderam a fé na informação a longo prazo), tornando o mercado errático e instável. Portanto, o mercado pode absorver os choques, enquanto mantém a sua estrutura fractal. Quando se perde essa estrutura, a instabilidade se alonga a todos os horizontes de investimento.

Peters (1991) afirma que uma das características mais importantes dos fractais é a auto-similaridade, verificável no mundo real, significando que o objeto ou o processo estatisticamente é similar em escalas diferentes, sejam estas espaciais ou temporais. Cada escala remonta a outras escalas, mas não são idênticas. Como os diferentes galhos de uma árvore que são qualitativamente auto-semelhantes a outros galhos, embora cada um seja também único.

Uma característica da Geometria Euclidiana reside no fato de que todas as suas dimensões são representadas por números inteiros. Assim, as linhas possuem uma dimensão, os planos possuem duas dimensões e os sólidos têm 3 dimensões.

A dimensão fractal caracteriza como o objeto preenche o espaço. Além disso, ele descreve a estrutura do objeto e como seu fator de ampliação, ou escalas, é alterado. Para fractais físicos ou geométricos, essa lei de escala ocorre no espaço. Ao passo que para uma série temporal fractal estatística, esta lei de escala ocorre no tempo.

A dimensão fractal de uma série temporal nos mostra o quanto irregular no tempo ela é. Como seria de se esperar, uma linha reta tem uma dimensão fractal de 1, o mesmo valor obtido através do uso da dimensão euclidiana. Uma série de tempo aleatório tem uma dimensão fractal de 1,50. Um método rápido para o cálculo da dimensão fractal consiste em envolver uma curva com círculos de raio r . Dessa forma poderíamos contar o número de círculos necessários para cobrir a curva e então aumentarmos o raio. Quando fazemos isso, nós achamos o número de círculos nas escalas da seguinte forma:

$$N = (2 * r). d = 1 \quad (1)$$

Onde: N = número de círculos

r = raio

d = dimensão fractal

As séries que se comportam de modo linear, se apresentam como uma linha reta, então sua dimensão fractal seria igual a 1. Ao passo que séries que demonstram um passeio aleatório possuem chances de 50% de se apresentarem tanto de forma ascendente ou descendente, daí, a sua dimensão fractal ser de 1,50. No entanto, se a dimensão fractal estiver situada entre 1 e 1,5, a série de temporal é mais que uma linha e menos que um passeio aleatório. Ou seja, é mais suave que um passeio aleatório, embora mais irregular que uma linha.

$$d = \log(N) / \log(1 / (2 * r)) \quad (2)$$

Após essas considerações começarem a ser realizadas por Mandelbrot, várias constatações empíricas foram feitas a partir das séries temporais de preços de ativos em diversos Mercados Financeiros. Nessas análises, emergiu a demonstração factual de que os mercados não se comportavam como sistemas de passeios aleatórios.

4. CONCLUSÕES

Os estudos realizados, com base em diversos autores, revelam que o arcabouço teórico no qual está pautada a Moderna Teoria Financeira foi de vital importância na busca da sistematização do conhecimento em finanças.

Entretanto, há que se considerar o incremento constante na velocidade de propagação da informação, característica intrínseca dos tempos modernos, atrelada ao desenvolvimento da tecnologia e à necessidade de processamento dessa informação. Essas características nos impõem a necessidade de evolução do nosso pensamento e o desprendimento de modelos matemáticos e teóricos outrora suficientes para explicar a realidade. Ou seja, faz-se necessário promover e entender as mudanças de paradigmas que se apresentam.

Os estudos recentes demonstram a presença marcante de caldas longas na distribuição dos preços dos ativos, confirmando que eventos não esperados manifestam-se mais frequentemente do que predito por uma análise baseada na curva normal. Destarte, as Teorias do Caos e da Complexidade, associada às Finanças Comportamentais, têm muito a contribuir para a evolução do consenso vigente nos Mercados Financeiros, auxiliando em sua compreensão e até mesmo na predição de seu comportamento.

Concluimos confirmando a suposição inicial dos autores, ratificando a existência de inconsistências no paradigma atual regido pela Moderna Teoria Financeira, que podem ser manifestas pela comprovação empírica e pela abordagem diferenciada sugerida pelas Teorias do Caos e da Complexidade, o que as qualifica como uma alternativa a abordagem tradicional, apresentando maior aderência à realidade.

Como recomendação, cabe alertar o mercado para a instabilidade dos pilares da Moderna Teoria Financeira, norteadora das atividades financeiras realizadas por grande parte do mercado de maneira consensual. As anomalias reveladas pelos testes empíricos revelam a urgência do surgimento de um novo paradigma que explique os fenômenos mercadológicos de forma mais contundente.

As Teorias da Complexidade e do Caos e a Teoria Fractal abrem espaço para o desenvolvimento de inúmeras pesquisas e aplicações, notadamente em sistemas que não foram bem explicados à luz da abordagem tradicional orientada pelos preceitos da geometria Euclidiana. O universo das finanças, por exemplo, constitui-se em um terreno fértil e ávido por ser explorado sob essa nova perspectiva. Assim, sugerimos o desenvolvimento de novas pesquisas ligadas à descoberta de padrões e leis razoavelmente simples que governam uma série de fenômenos complexos e vice-versa, como por exemplo, o comportamento dos preços

dos ativos em diversos mercados. Cabe, ainda, sugerir estudos que avaliem a validade do conceito de aleatoriedade dos preços e a sua possível submissão a modelos determinísticos calcados na Teoria Fractal.

6. REFERÊNCIAS

DAMODARAN, A. Avaliação de Investimentos: ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo. Tradução de Bazan Tecnologia e Lingüística. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

FAMA, E. F. & MILLER, M. H. The Theory of Finance. Hinsdale, Illinois: Dryden Press, 1972.

GALVÃO, A. et alii. Mercado Financeiro: uma abordagem prática dos principais produtos e serviços. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

GLEISER, I. Caos e Complexidade. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

KUHN, Thomas S. A estrutura das revoluções científicas. 7. ed. São Paulo: Perspectiva, 2003.

NUSSENZVEIG, H. M. Complexidade e Caos. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/COPEA, 1999.

PETERS, E. E. Chaos and Order in the Capital Markets: a New View of Cycles, Prices, and Market Volatility. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.

PETERS, E. E. Fractal Market analysis: applying chaos theory to investment and economics. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.

RUGGIERO, M. A. Cybernetic trading strategies: developed a profitable trading system with state-of-the-art technologies. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1997.

SOROS, G. O novo paradigma para os mercados financeiros: a crise atual e o que ela significa. Rio de Janeiro: Agir, 2008.

TALEB, N. N. A lógica do Cisne Negro: o impacto do altamente improvável. Rio de Janeiro: Best Seller, 2008.