

TEORIA DO CAOS APLICADA AOS CONTRATOS DE CAFÉ NO MERCADO DE DERIVATIVOS

Marcelo Scherer Perlin¹

Rua Washington Luis, 918/302 - Centro
CEP: 90010-460 Porto Alegre/RS Brasil
Tel: (51) 3028-7100
E-mail: marceloperlin@gmail.com

Paulo Sérgio Ceretta²

Rua Floriano Peixoto, 1184 – Centro
CEP: 97015-372 Santa Maria/RS Brasil
Tel.: (55) 3220-9297
E-mail ceretta@smail.ufsm.br

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Escola de Administração
CEP: 90010-460 Porto Alegre/RS Brasil

² Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Departamento de Ciências Administrativas
CEP: 97015-372 Santa Maria/RS Brasil

Resumo:

Dentro da teoria financeira moderna do mercado de capitais, o estudo da existência da previsibilidade no comportamento do mercado é objeto de pesquisa de inúmeros artigos. Tal tipo de pesquisa é indicada como um teste da eficiência do mercado. Uma grande parte desses estudos baseiam-se no encontro de relações entre o comportamento dos ativos em relações a outras variáveis (Fama e French (1992)) ou no teste de modelos matemáticos de previsão (Rodríguez, Rivero e Artiles (2001)). Uma abordagem alternativa para o tipo de pesquisa destacada anteriormente encontra-se na teoria de sistemas não lineares, mais precisamente na teoria do caos. O presente artigo possui como objetivo verificar a existência de comportamento caótico para os contratos de café arábica entre 11/03/2002 até 30/12/2002 (todos com vencimento até janeiro de 2003). Para atingir tal objetivo, foi utilizada a proposta qualitativa e quantitativa do teste descrito em, respectivamente, Gilmore (1998) e Ceretta (2003). A principal conclusão da pesquisa é o encontro de evidências favoráveis a existência de dinâmicas não lineares nos contratos de café arábica, sugerindo que o comportamento do ativo não é previsível no longo prazo.

Abstract:

In the modern theory of finance, the research about the predictability of stock market returns is the subject of several papers. Such type of study is indicated as a test of market efficiency. Most part of this type of research are based on the study of the relationship between the stock's behavior and another variables (Fama e French (1992)) or on the test of mathematical models of time series prediction (Rodríguez, Rivero e Artiles (2001)). An alternative approach to such type of study is related to the theory of non linear systems, more precisely to the theory of chaos. The objective of this paper is to check the existence of chaotic behavior in the contracts of Arabic Coffee between 11/03/20002 until 30/12/2002 (all contracts have expiration on January of 2003). In order to reach the objective, it was utilized the qualitative and quantitative approach described, respectively, in Gilmore (1998) and Ceretta (2003). The main conclusion of the research is related to the encounter of signs of non linear dynamics on the respective market, which indicates that the asset's behavior is not predictable on the long term.

Palavras Chaves: Teoria do Caos, Eficiência de Mercado, Mercado Derivativo, Sistemas Não Lineares, Previsibilidade do Mercado.

TEORIA DO CAOS APLICADA AOS CONTRATOS DE CAFÉ NO MERCADO DE DERIVATIVOS

Introdução

A complexidade da dinâmica que se desenvolve no mercado de derivativos e em seu parente próximo, o mercado de ações, é objeto de estudo que atrai grande parte da comunidade acadêmica devido à importante contribuição destes instrumentos financeiros no desenvolvimento econômico do país. Grande parte dos estudos quantitativos tem por objetivo verificar a hipótese de eficiência ou ineficiência do mercado de capitais, ou seja, se é possível, com base em informações passadas, determinado investidor obter ganhos financeiros acima da média¹.

Dentro da busca por um melhor entendimento do comportamento do mercado de capitais, surge o papel dos estudos matemáticos baseados em sistemas não-lineares, mais precisamente a teoria do caos. Esse campo teórico pesquisa uma qualidade de ordem complexa que surge em equações determinísticas relativamente simples. Segundo Bernstein (1997), pressupostos da teoria do caos deterioram conceitos básicos de estatística e matemática devido à complexidade não-linear existente nos sistemas ditos caóticos. A nova perspectiva é capaz de prover outro tipo de abordagem para elucidar o comportamento do mercado de capitais com o objetivo de se determinar a existência de possíveis indícios de previsibilidade nos rendimentos dos ativos, ou se os mesmos seguem um processo chamado de caminho aleatório (*random walk*) e, portanto, não são passíveis de qualquer previsão quantitativa.

Os testes de detecção de caos são comumente utilizados no mercado de ações, deixando uma lacuna investigativa para o mercado de derivativos. No estudo de Ceretta (2003), é testada a hipótese da existência de comportamento caótico no índice Ibovespa, os resultados obtidos no estudo identificaram poucos indícios de dependência não-linear, sendo estes insuficientes para evidenciar a presença de caos.

O objetivo deste trabalho é verificar a presença de ordem caótica no mercado de derivativos brasileiro através do teste *close returns* descrito por Gilmore (1998). Serão utilizados preços diários de fechamento para os contratos de café, com início em 11/03/2002 até 30/12/2002, todos com vencimento em janeiro de 2003.

¹ Para o Brasil temos, por exemplo, Perobelli e Ness (2000), Bueno, Braga e Almeida (2000), Bruni e Fama (2003), A mado e Carmona (2003) entre vários outros.

Este artigo está dividido em 4 partes, sendo que na primeira será discorrido sobre a teoria do caos e suas implicações, a seguir será explanado a convergência desta com a teoria financeira do mercado de capitais, em seguida é evidenciado os aspectos metodológicos na detecção de caos e, por fim, apresenta-se os resultados obtidos e conclusões.

A Teoria do Caos.

O desenvolvimento científico no estudo de fenômenos naturais parte da delimitação e escalonamento das variáveis tangíveis ao evento observado, onde a dinâmica quantitativa é expressa na forma de uma equação algébrica. Com essa delimitação é possível prever o comportamento futuro do sistema baseando-se nas variáveis da equação. Por exemplo, um veículo que anda a 100 km/h em um trajeto retilíneo, na segunda hora do trajeto terá percorrido exatamente 200 km do ponto de partida, dispensando é claro o atrito do corpo do veículo com a estrada, o atrito com o ar, uma pequena variação da pressão do motorista no pedal de acelerador, uma recarga de combustível e tempo para necessidades pessoais, uma pedra que o veículo passou por cima e portanto andou maior distância, etc.

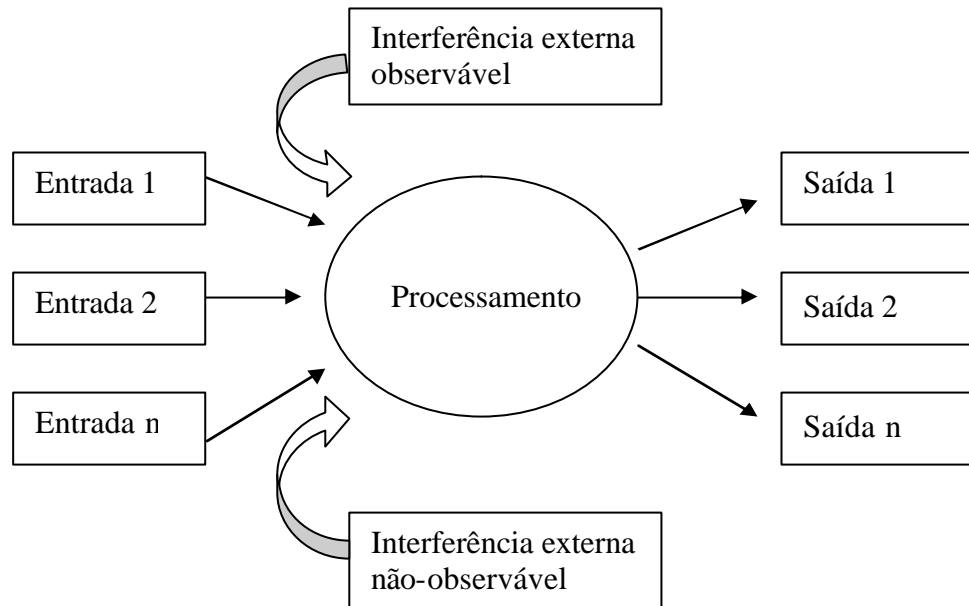
Pode-se encontrar infinitas razões para sustentar a hipótese de que um veículo que se desloca a 100 km/h não irá percorrer, precisamente, 200 km após 2h de viagem, porém é bastante claro que esses erros ou perturbações no modelo não causarão uma invalidez no resultado da equação, dentro da necessidade básica de planejamento temporal de uma viagem. Verifica-se tal situação pois a equação da velocidade e sua derivada, a aceleração, são equações lineares e, portanto, são simples e suficientes para descrever o fenômeno, apesar de seus resultados algébricos não corresponderem exatamente à realidade.

A teoria do caos contesta a noção de validade científica no estudo de sistemas. Utilizando-se o exemplo anterior sobre a distância percorrida por um veículo, caso a equação da velocidade apresentasse propriedades caóticas, sua validade seria seriamente questionada, pois uma menor diferença que for causada na velocidade inicial do veículo (não necessariamente na velocidade inicial mas em qualquer momento), por exemplo a influência de um golpe de vento, irá causar uma grande perturbação nas velocidades futuras. Tal qualidade deve-se à dinâmica não-linear que é encontrada no caos determinístico, onde uma pequena variação entre o real e o calculado se acumula de forma exponencial até o momento quando a diferença entre o resultado algébrico e a constatação real tornar-se absurdamente visíveis (geralmente no longo prazo).

Para complementar a explicação sobre caos pode-se utilizar outro tipo de abordagem. Dentro da teoria sistêmica de Bertalanffy (1988), encontra-se a bastante divulgada noção de

entradas, processamento e saídas que um determinado sistema proporciona. A seguir, Figura 1, é ilustrado graficamente um sistema no seu contexto básico.

Figura 1 – Entradas e saídas de um sistema



Por entradas ou *inputs* entende-se tudo aquilo que o sistema necessita como base para processar ou produzir saídas ou *outputs*. Por exemplo, para uma fábrica de sapatos as entradas seriam a matéria-prima necessária, a força de trabalho e tudo mais aquilo que é preciso para a produção de pares de sapatos, nesse caso, os sapatos, os refugos e as perdas são os *outputs* gerados pelo processamento dos *inputs*.

O ponto principal da intersecção entre a teoria sistêmica e a teoria do caos encontra-se na falta de controle que será encontrado no sistema caso o mesmo for caótico. As entradas não observáveis terão uma sensibilidade extrema no resultado das saídas resultantes do processamento, e, como é impossível determinar as entradas imperceptíveis, o sistema acaba ficando fora de controle (caótico) após a passagem de certo intervalo de tempo. Desta forma, supondo a presença de propriedades caóticas em uma fábrica de sapatos, o fato de um trabalhador não gostar de uma sobremesa de abacate servida logo após o almoço, pode acabar ocasionando a falência da empresa.

Esse abalo no determinismo matemático foi identificado por Poincaré (1908) quando esse matemático estava procurando entender o comportamento de uma partícula perante a influência de grandes corpos. Os cálculos mostraram que uma pequena diferença na posição inicial da partícula em relação aos grandes corpos causaria uma grande diferença no

comportamento de longo prazo. Em seguida, Lorenz (1963) buscou quantificar o comportamento climático de uma determinada região e a conclusão de seu estudo corroborou com os resultados de Poincaré (1908), ou seja, hipersensibilidade do sistema perante as condições iniciais. Esta propriedade de sistemas caóticos é comumente chamada de efeito borboleta.

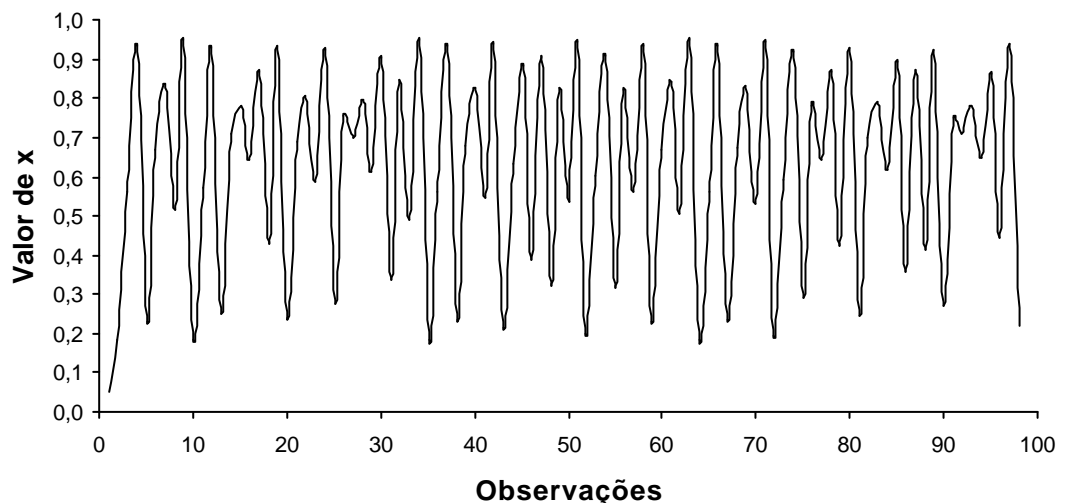
Hsieh (1990) cita diversas equações com propriedades caóticas, entre elas, *tent map*, *logistic map*, *h enon map* e *mackey-glass equation*. Com o objetivo de desenvolver e analisar as propriedades do caos, uma das equa es mais populares   a equa o log stica (*logistic map*), apresentada a seguir, Equa o [1].

$$x_t = kx_{t-1}(1 - x_{t-1}) \quad [1]$$

Observando a Equa o [1], verifica-se que a equa o log stica   retroalimentada pelo resultado do per odo anterior, onde k   uma constante e x_t   o resultado no per odo de tempo t . Para a explica o das caracter sticas do caos determin stico, ser  utilizado um valor inicial de x_t igual a 0,05 e um valor da constante k maior que 3,67 pois   com valores da constante maiores deste que as propriedades ca ticas se apresentam (no decorrer do artigo ser  demonstrado graficamente a transi o para o caos).

Plotando os valores de x_t em fun o do tempo, assumindo $k = 3,8$ e valor inicial em 0,05, com um n mero total de 100 observa es, encontra-se a Figura 2 que   demonstrada a seguir.

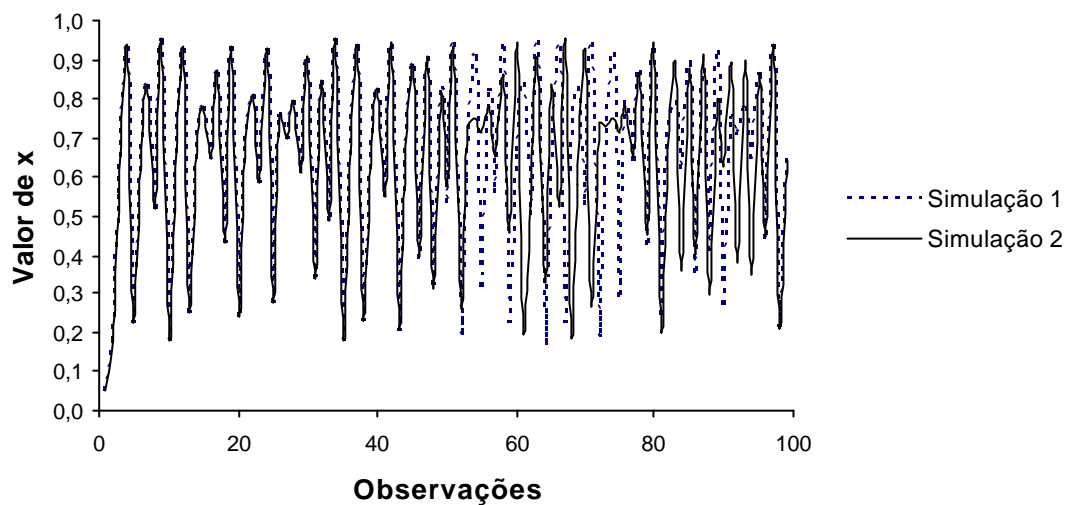
Figura 2 – Gr fico da equa o log stica



Observa-se que a Figura 2 segue em curva até meados da quinta observação e, após isto, a mesma entra em oscilações regulares em torno de, aproximadamente, 0,75.

A partir da Figura 2, pode-se apresentar a primeira propriedade dos sistemas caóticos, a hipersensibilidade às condições iniciais. Na Figura 3, são ilustradas duas projeções, a projeção 1 possui um valor inicial de 0,05 e a simulação 2 com o período inicial de 0,050000000001. Foram simuladas 100 observações com o valor da constante k igual a 3,8.

Figura 3 – Hipersensibilidade dos sistemas caóticos



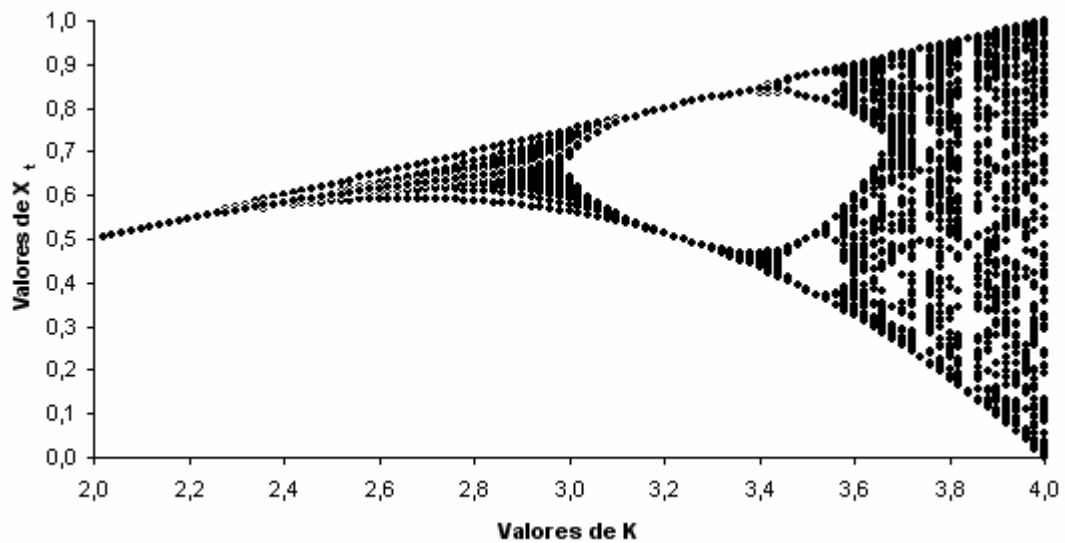
Observa-se que ambas simulações seguem sobrepostas até, aproximadamente, a observação número 45, após os dois sistemas começam a diferir fortemente seus comportamentos, evidenciando que uma diferença aparentemente insignificante de 0,000000000001 foi suficiente para causar uma variação significativa no comportamento de longo prazo das equações, o que comprova a hipersensibilidade às condições iniciais que os sistemas caóticos estão sujeitos².

A segunda e principal característica dos sistemas caóticos surge a partir de conclusões da propriedade anterior. Como as condições iniciais de um sistema são dificilmente mensuráveis com exatidão por razões de complexidade, a diferença irá desencadear uma perturbação no longo prazo entre o valor calculado e o valor real, ou seja, o sistema somente será controlável por um breve período. Por Connely (1996), a previsão em sistemas caóticos somente é possível no curto prazo, antes que o efeito borboleta domine o sistema.

² Para maiores detalhamentos desta propriedade encontrada istemas caóticos, destaca-se o trabalho de Harrisson (1999), onde tal qualidade é demonstrado de forma extensiva.

A terceira qualidade das equações determinísticas com propriedades caóticas é o comportamento do gráfico *phase space* para a Equação [1]. Os gráficos *phase space* constituem uma forma de verificar o espaço que a respectiva equação ocupa, ou seja, calcular os valores para todas as possíveis combinações entre os valores dos termos. A ilustração a seguir, Figura 4, foi construída simulando-se 100 observações para cada valor de k , tendo o valor da observação inicial fixo em 0,495.

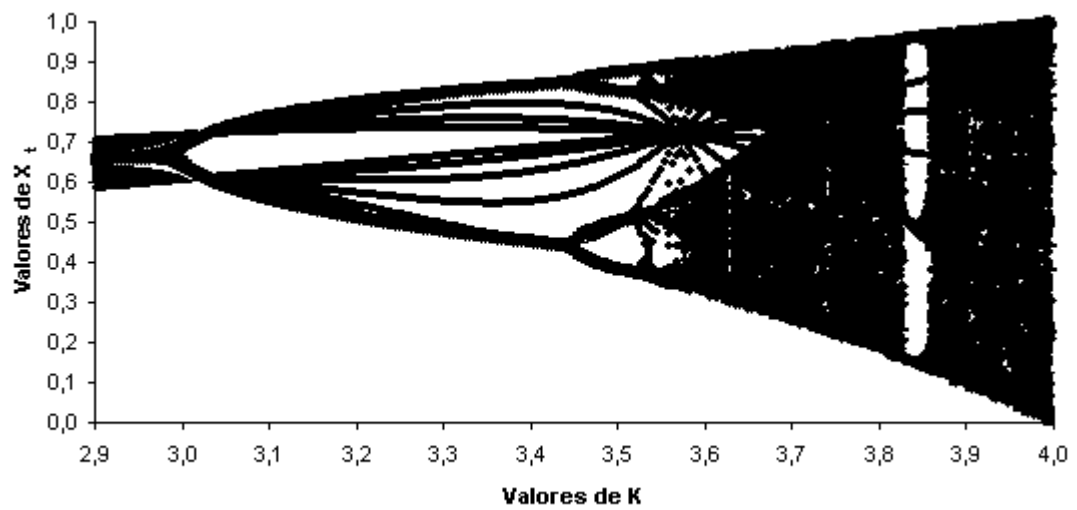
Figura 4 – Gráfico da bifurcação



Para a Figura 4, verifica-se que o comportamento segue normal até meados de $k=3$, onde os valores criam a primeira bifurcação e, aproximadamente, em 3,4, onde a segunda bifurcação se apresenta. Conforme descrito anteriormente, as propriedades caóticas surgem em valores de k maiores que, aproximadamente, 3,67 pois é a partir deste valor que as órbitas regidas pelos atratores estranhos se encontram. O limite numérico-espacial da equação é evidenciado em $k=4$, pois com este valor, x_t iguala-se a 1 e, portanto, o cálculo da equação com esse valor retorna como resultado o valor de 0.

Com o intuito de evidenciar a influência dos atratores estranhos, é plotado, a seguir, Figura 5, o gráfico da bifurcação com o mesmo valor inicial (0,495) porém com 63.495 observações.

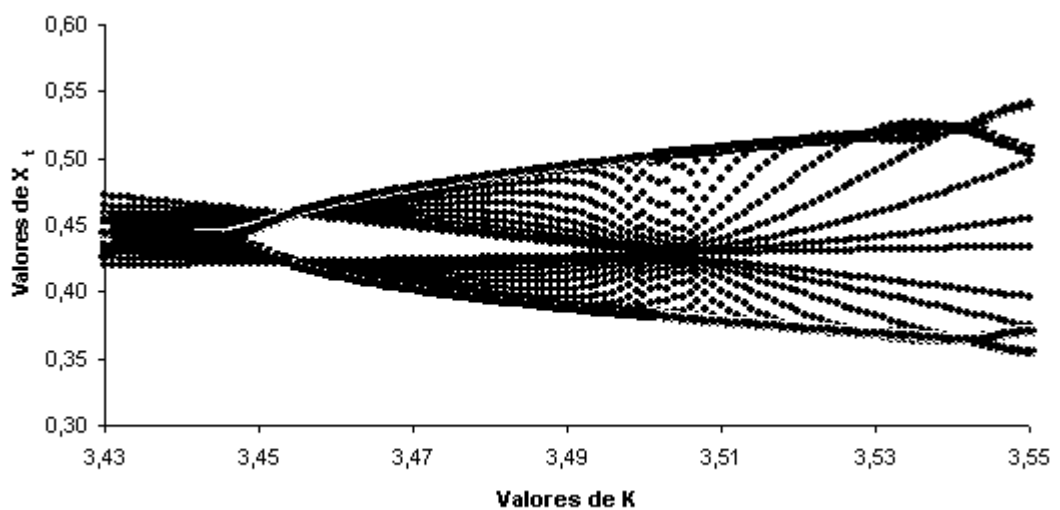
Figura 5 - Gráfico da bifurcação (63.495 observações)



Observa-se, na Figura 5, o surgimento de um novo padrão, linhas se encontram no meio do espaço proveniente da primeira bifurcação. Esse padrão não apareceu na Figura 4 pois as variações usadas para progredir os valores de k eram grandes em relação às variações usadas na Figura 5, ou seja, plotou-se os pontos da Figura 5 para mínimas variações de k produzindo, assim, um alto número de observações, as quais resultam em um maior detalhamento do gráfico. A explicação deste padrão visual é a presença de atratores estranhos que puxam e repelem os valores das órbitas vizinhas.

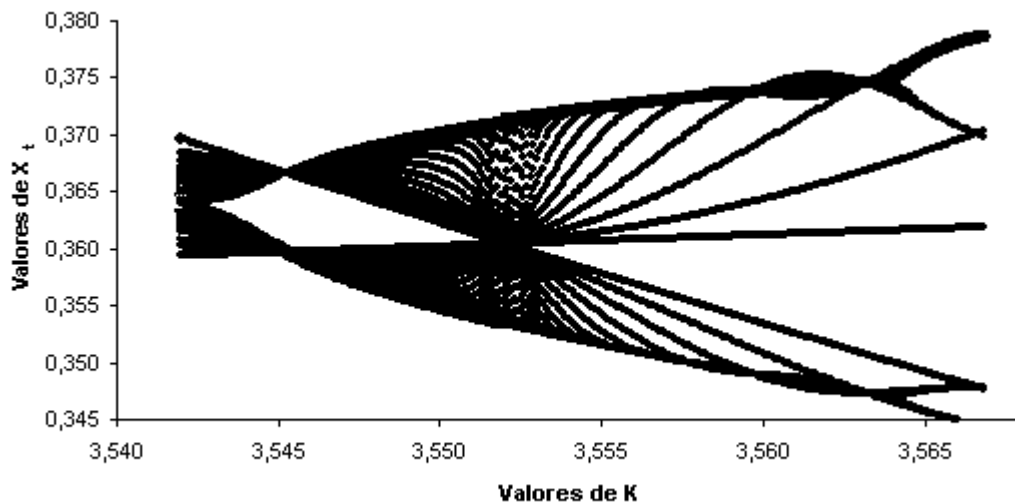
Para demonstrar a propriedade fractal de sistemas caóticos, a seguir, Figura 6, demonstra-se a primeira bifurcação inferior ampliada.

Figura 6 – Primeira bifurcação inferior



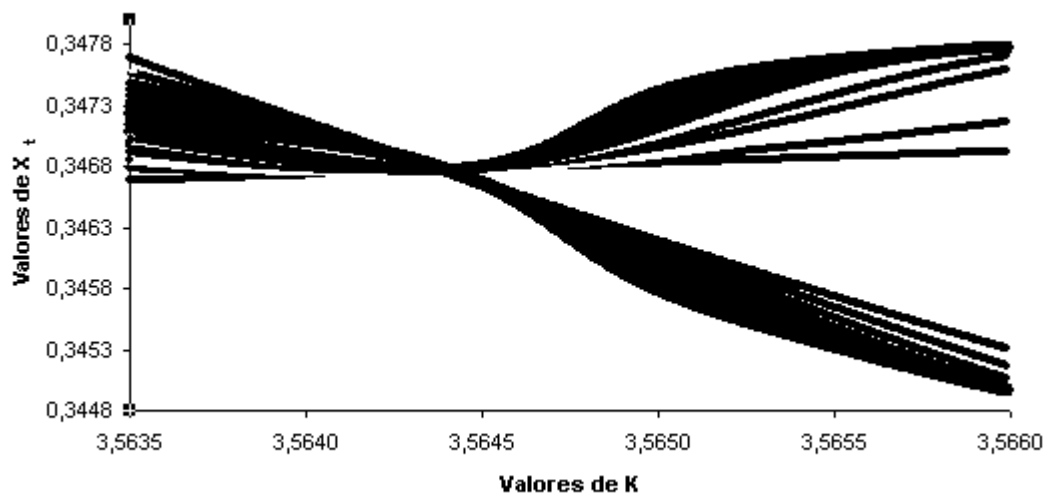
A Figura 6 possui as mesmas 63.495 observações da Figura 5 e o padrão das bifurcações reaparecem neste mapa ampliado. Na Figura 7, a seguir, é aplicada outra aproximação na segunda bifurcação inferior, aproximadamente em 3,54.

Figura 7 – Segunda bifurcação inferior ampliada



O gráfico contém as mesmas 63.495 observações das Figuras anteriores. Na Figura 8 é ampliado novamente a bifurcação inferior que ocorre em aproximadamente $k=3,564$.

Figura 8 – Terceira bifurcação inferior ampliada



Observa-se que as linhas que se encontravam no meio do espaço da bifurcação desapareceram. Isto aconteceu pois foi neste último gráfico que se encontrou o limite de memória disponível para o excel no computador utilizado, porém isto não impossibilita a conclusão da terceira característica dos sistemas caóticos, a propriedade fractal.

Caso fosse plotado num gráfico um número bastante elevado de observações, verificar-se-ia que as linhas em direção ao espaço vazio da bifurcação continuariam existindo, porém numa escala extremamente acentuada. Tais bifurcações dos valores seguem continuamente pelo resto do gráfico, sendo a distância entre uma e outra cada vez menor, transitando por caos e determinismo. Essa é a propriedade fractal, a ordem menor dentro da ordem maior, possuindo ambas o mesmo padrão implícito. Para maiores detalhes teóricos, do ponto de vista da Física e Matemática, nas propriedades encontradas em sistemas caóticos, destacam-se o trabalho de Baranger (1998) e Gershenson (2003), como referências.

Teoria do caos e mercado de capitais

Como foi descrito nos tópicos anteriores, o caos pode surgir em equações determinísticas aparentemente simples, porém qual a analogia que faz convergir ambas as teorias? Quais as conclusões que se pode tirar caso se encontre propriedades caóticas no comportamento do mercado de ações ou de derivativos?

A equação logística (*logistic equation*) utiliza informações de dados anteriores para realizar os cálculos de previsão para certo período de tempo e sabe-se que os rendimentos anteriores de um ativo tem grande significância na decisão dos investidores sobre onde e quanto de recursos será alocado em dado ativo. Essa relação compartilhada entre as teorias (caos e mercado de capitais) certamente intriga a curiosidade acadêmica. Outra causa para a convergência é a semelhança entre as órbitas presentes na equação *logistic map* e nos ciclos de subida e descida das ações no mercado financeiro.

Segundo Hsieh (1990), a atratividade dos teóricos de finanças em relação à teoria do caos surge em função da propriedade das equações em produzir grandes movimentos que, aparentemente, são aleatórios e semelhantes aos movimentos do mercado financeiro. Para Connely (1996), a transição do comportamento da economia entre quedas e períodos de estabilidade é uma característica marcante e muito semelhante ao comportamento de sistemas caóticos. Outra abordagem referente a congruência entre teoria do caos e mercado financeiros é em relação aos fractais, a qual representa uma das propostas do trabalho de Mandelbrot e

Hudson (2004)³. Outro trabalho nesse sentido é Matsushira, Gleria, Figueiredo e Silva (2001), cuja principal conclusão é o encontro de evidências de fractais para o comportamento entre a moeda chinesa (*yuan*) e a moeda americana (*US dollars*).

A principal conclusão que se pode tirar, através da afirmativa de existência de propriedades caóticas em um conjunto de rendimentos originários no mercado de capitais, é de que o comportamento dos respectivos ativos são imprevisíveis no longo prazo. Se as propriedades caóticas forem existentes, conclui-se a impossibilidade de previsões de longo prazo devido à hipersensibilidade das condições primárias conforme demonstrado anteriormente e, portanto, o mercado de capitais é apenas parcialmente previsível numa perspectiva de curto prazo.

Detecção do caos no mercado de derivativos

Os testes existentes dentro da teoria do caminho aleatório (*random walk*) não conseguem identificar um processo caótico pois o mesmo apresenta propriedades não-lineares complexas e é imprevisível apenas no longo prazo, deixando uma lacuna de possível previsibilidade no curto prazo. Tais características tornam prejudicial a eficiência do teste BDS na identificação do caos.

Uma saída para a detecção de caos é a presença de não linearidade em séries temporais, por exemplo o teste BDS descrito em Brock, Dechert e Scheinkman (1987). Esse teste é baseado em correlação dimensional descrita em Grassberger e Procaccia (1983). Sabe-se que o caos oferece uma dinâmica não linear, porém a detecção desta não é suficiente para a afirmação da presença de propriedades caóticas, este fato o que descarta o uso desta ferramenta de detecção.

Gilmore (1993) descreve um novo teste chamado de *close returns*. A base desta metodologia são as distâncias entre as observações com órbitas coincidentes. Primeiramente, calcula-se o valor de ϵ , o qual é nada mais que um filtro. Para fazer isto, diminui-se o menor valor da série pelo maior valor e multiplica-se o resultado por 2% a 5%. Esse número é o instrumento que será utilizado para se determinar e contar a passagem de uma órbita futura ou passada pelo ponto observado. Após calculado o contador de órbitas, o passo seguinte é diminuir a observação presente de todas as observações passadas e futuras. É necessário tornar todos os valores calculados em positivos (norma euclidiana), de modo a facilitar o posterior uso de variáveis *dummies* para reconhecimento das órbitas.

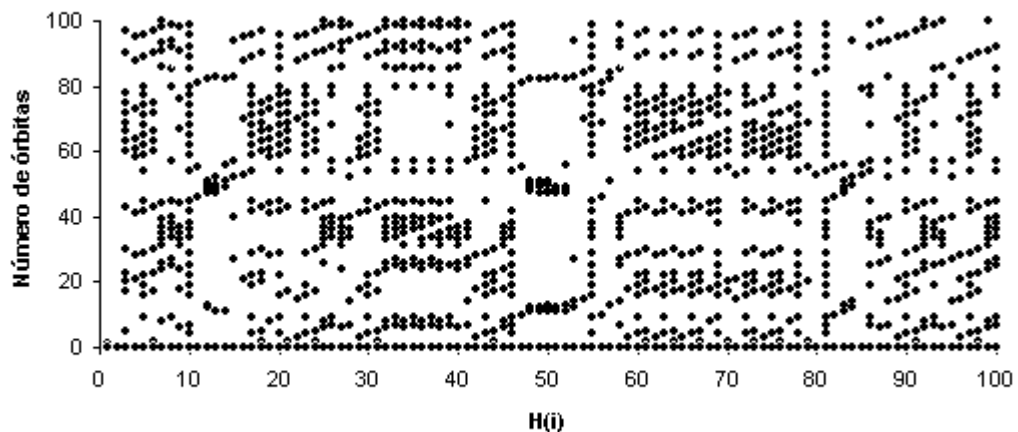
³ Uma das propostas dos autores é utilizar fractais para simular os preços das ações.

Em seguida, verifica-se quais os valores que são menores que o valor de ϵ , de modo que se identifique possíveis órbitas anteriores ou posteriores. Utilizando variáveis *dummy*, atribui-se o valor 1 (um) para o encontro de uma órbita e 0 (zero) para a inexistência desta. Após, é necessário demarcar qual a distância que a órbita ocorreu perante o ponto observado. Para isso, basta multiplicar as *dummies* pelo número da observação; por exemplo, caso na observação número 5 encontre-se órbitas na observação 2 e 35, multiplica-se estes dois números pelo número 1 (variável *dummy* sinalizando a presença de uma órbita) de suas colunas (demonstrando a existência de órbita).

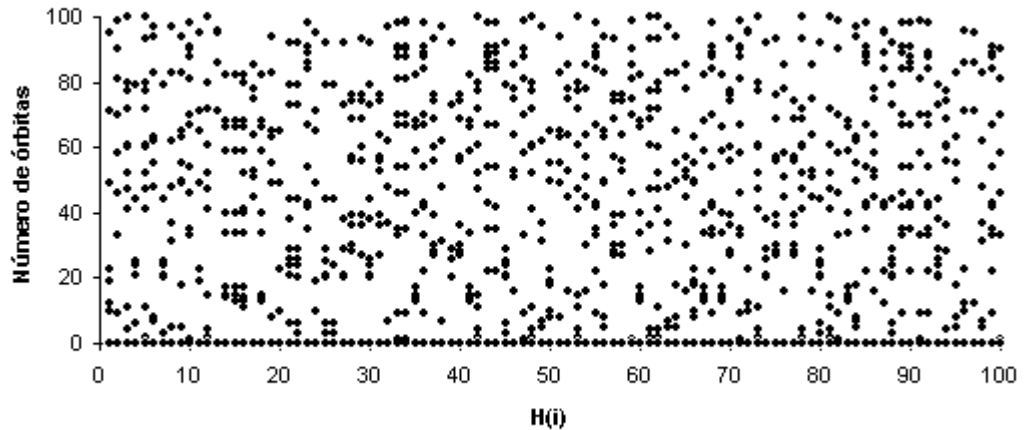
A base da detecção de caos do teste é que uma série com propriedades caóticas apresenta espaços brancos não utilizados em seu gráfico *close returns* devido às suas órbitas regulares resultando em um padrão visual bastante peculiar, linhas horizontais no espaço da figura.

A seguir, Figura 9, é ilustrado o gráfico *close returns* para a série gerada a partir da equação logística, onde o eixo horizontal representa as observação $H(i)$ e o eixo vertical a contagem de órbitas e seus respectivos *lags* perante a observação. Nesta Figura foi utilizado $k=3,9$ e valor de x_0 igual a 0,01.

Figura 9 – Teste *close returns* para série caótica

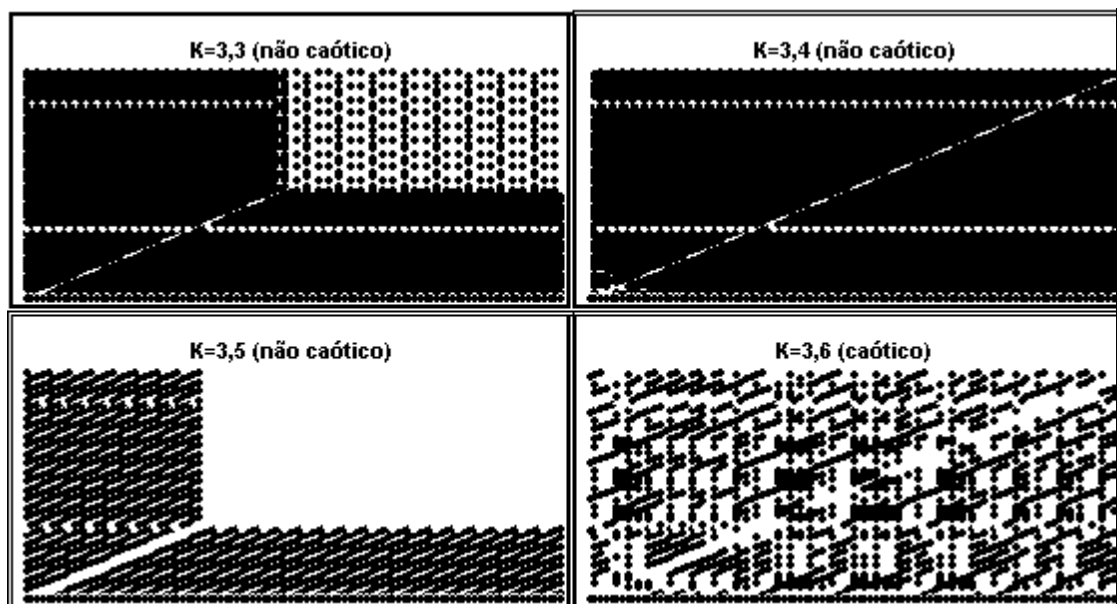


Observa-se na Figura 9 que as órbitas seguem um padrão visual bastante peculiar, deixando espaços não utilizados no gráfico. Esse comportamento deve-se a atuação dos atratores estranhos, os quais puxam e repelem as órbitas. Na Figura 10, a seguir, plota-se os pontos do gráfico *close returns* para uma série pseudo-aleatória gerada com o auxílio do excel.

Figura 10 – Teste *close returns* para série pseudo-aleatória

Observa-se na Figura 10 que o padrão visual (onde os valores ocupam os espaços sem deixar lacunas vazias) não se apresenta. Verifica-se tal situação pois a série gerada não possui órbitas regulares e, portanto, pode-se descartar o encontro de propriedades caóticas.

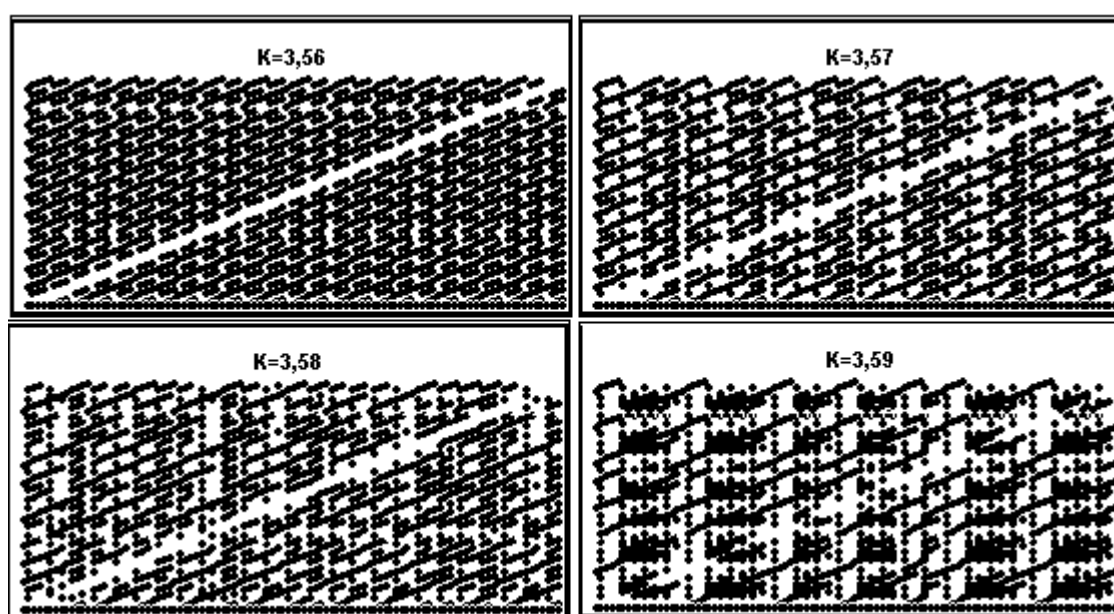
Para verificar a eficácia do teste *close returns* na detecção da transição do determinismo para o caos, utiliza-se a metodologia variando os valores da constante k da equação logística onde as propriedades caóticas não se apresentam, isto é, com valores de k menores de aproximadamente 3,58. A seguir, Figura 11, ilustra-se o gráfico do teste *close returns* para diferentes valores de k (valor inicial de 0,495).

Figura 11 – Teste *close returns* para diferentes valores de k 

Observa-se que a medida que os valores da constante k crescem, o sistema passa de determinista para caótico e o teste *close returns* descrito por Gilmore (1993) é capaz de detectar esta transição.

Uma problemática encontrada nesse teste é que o diagnóstico é visual e, portanto, não quantitativo, estando sujeito a ilusão de ótica do observador. Para ilustrar essa deficiência apresenta-se a Figura 12, onde é mostrado o teste *close returns* para variações pequenas dos valores de k , mais precisamente entre 3,56 e 3,59.

Figura 12 – Teste *close returns* para $3,56 > k > 3,59$



Analisando a Figura 11, fica difícil afirmar para qual valor de k o sistema transita para o caos, pois as linhas horizontais características de órbitas regulares aparecem em $k = 3,57$ até o valor de $k = 3,59$, onde ficam bastante explícitas. Com o objetivo de não gerar conclusões infundadas, utiliza-se como alternativa o método quantitativo dos histogramas de frequência descrito em Ceretta (2003).

Para explicar essa abordagem quantitativa, a seguir, Figuras 13 e 14, são demonstrados os histogramas de frequência da presença de órbitas (proveniente do teste *close returns*) em relação à observação, tanto para séries caóticas quanto para séries pseudo-aleatórias.

Figura 13 – Histograma das frequências de órbitas para série caótica

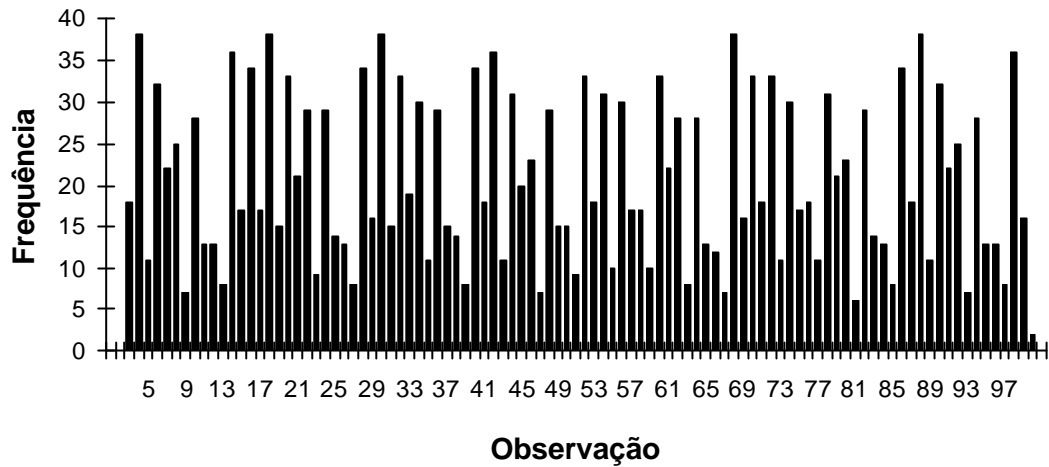
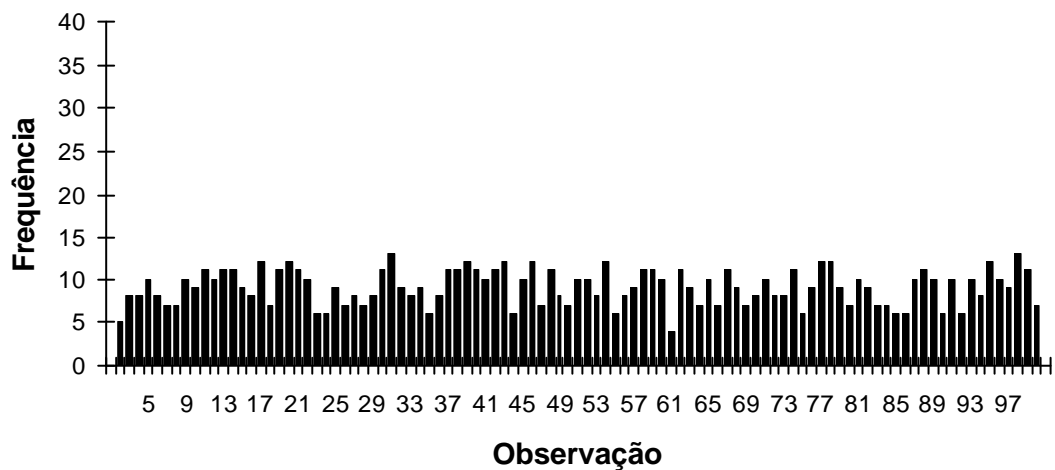


Figura 14 – Histograma das frequências de órbitas para série pseudo-aleatória



Analisando as Figuras 13 e 14, observa-se que em séries caóticas existe um maior número de passagem de órbitas. A abordagem quantitativa do teste *close returns* mede a dispersão aplicando o teste qui-quadrado nos histogramas das frequências geradas pelo *close returns*. Caso a amostra apresente valor calculado maior que valor tabelado para distribuição qui-quadrado, conclui-se que alguma dependência não-linear existe e traz consigo efeitos dos agentes caóticos na série.

Metodologia e resultados obtidos

Neste trabalho será utilizado os preços de fechamento dos contratos de café do mercado derivativo brasileiro, do período de 11/03/2002 até 30/12/2002, totalizando 200 observações diárias. Todos contratos possuem vencimento para janeiro de 2003. A seguir, Tabela 1, é apresentada a estatística descritiva dos preços de fechamento e rendimentos diários dos contratos agropecuários de café.

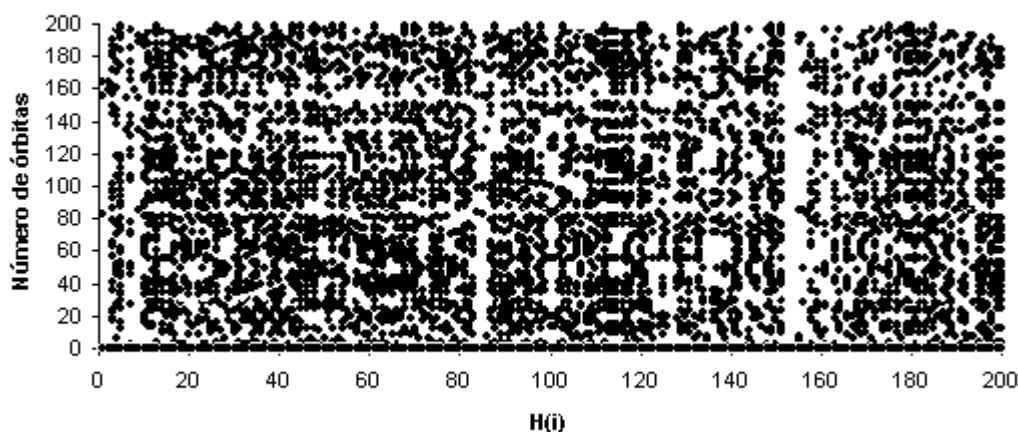
Tabela 1 – Estatística descritiva dos preços de fechamento e rendimentos diários

Estatística	Contratos derivativos de café	
	Preços de fechamento	Rendimentos diários
Média	55,21	0,04%
Mínimo	44,70	-7,46%
Máximo	67,70	12,65%
Variância	29,30	0,05%
Desvio Padrão	5,41	2,34%
Excesso de Curtose	-0,72	4,69
Assimetria	0,15	0,97

Analisando os dados da Tabela 1, observa-se o excesso de curtose para os retornos diários, o qual é um fato estilizado para séries financeiras. Também é possível enxergar a variabilidade dos rendimentos do ativo, o qual obteve um retorno máximo em 12,65% e um mínimo de -7,46%, com um desvio padrão em 2,34%.

Continuando com o trabalho, apresenta-se a seguir, Figura 15, o gráfico do teste *close returns* para as rentabilidades diárias dos contratos de Café Arábica.

Figura 15 – Teste *close returns* para rentabilidades diárias do café



Analisando a Figura 15, verifica-se que as rentabilidades possuem uma certa periodicidade nas órbitas, transparecendo através do aparecimento de linhas horizontais no gráfico. Esse julgamento é subjetivo e portanto não é suficiente para a afirmação de propriedades caóticas no comportamento do ativo. É importante salientar que no decorrer do artigo foi usado um gráfico *box plot* 100x100 para desenvolver a metodologia do teste *close returns* e, para a Figura 15, é utilizado uma configuração 200x200. Tal diferença se explica pela necessidade de que nenhuma observação (total = 200) fique fora da análise.

Para a parte quantitativa do teste, a seguir, Tabela 2, é demonstrado os resultados da aplicação do teste qui-quadrado nas frequências das órbitas provenientes do teste *close returns* (provenientes dos rendimentos diários do café arábica).

Tabela 2 – Resultados da abordagem quantitativa do teste *close returns*

Ativo	Teste Qui-quadrado	
	Calculado	Tabelado
Contratos de Café Arábica	2091,17	232,91

Analisando os valores da Tabela 2, verifica-se o encontro de uma diferença de 1858,26 entre o valor qui-quadrado calculado e o tabelado, ou seja, o valor de teste qui-quadrado calculado é superior ao valor do teste qui-quadrado tabelado. A superioridade do valor calculado sobre o tabelado implica no encontro de um certo grau de não linearidade complexa nos rendimentos de café arábica. Tal indício sugere que o respectivo ativo pesquisado possua um comportamento característico de sistemas caóticos.

Resumindo, tanto o teste qualitativo descrito em Gilmore (1998) quanto o quantitativo sugerido em Ceretta (2003) indicam a que o comportamento dos contratos de Café Arábica possui propriedades caóticas. Tal questão leva a conclusão de que os retornos oriundos dos respectivos contratos são imprevisíveis no longo prazo deixando, porém, uma lacuna de previsibilidade para o curto prazo.

Conclusões

Sendo o objetivo desta pesquisa estudar a presença de propriedades caóticas dentro do mercado derivativo, mais especificamente nos contratos de café arábica, verificou-se, tanto no enfoque qualitativo quanto no quantitativo do teste *close returns*, o encontro de uma forte dinâmica não-linear no comportamento do ativo.

Salienta-se que estes sinais comprovam a evidência da presença de propriedades caóticas nos rendimentos dos contratos de café arábica. Conclui-se, a partir dos resultados da pesquisa, que existe grande tendência de que o comportamento do ativo originário do mercado de derivativos seja imprevisível no longo prazo, porém é importante salientar que no curto prazo ainda pode ser possível prever o comportamento do ativo.

Destaca-se a importância de maiores pesquisas para que a aplicação de testes possam confirmar com exatidão a presença de propriedades caóticas dentro de uma série temporal, assim como também a necessidade de estudos adicionais sobre previsibilidade no mercado de derivativos

Bibliografia

AMADO, C. F. P., CARMONA, C. U. M. Eficiência dos Mercados Futuros: um Estudo Utilizando Testes de Cointegração para Commodities Agrícolas. Anais ENANPAD, 2003.

BARANGER, Michel. Chaos, Complexity, and entropy – A physics talk to non-physicists. *Working Paper*, New England Complex Systems Institute, Cambridge MA USA, 1998. Disponível em <http://necsi.org/projects/baranger/cce.pdf>.

BERNSTEIN, Peter L. *Desafio dos deuses*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

BERTALANFFY, Ludwig V. *General systems theory foundations, development, applications*. New York : George Brazillier, 1988.

BROCK, W. ; DECHERT, W. ; SCHEINKMAN, J. *A test for independence based on correlation dimension. Working paper*, University of Wisconsin, 1987.

BUENO, A. F., BRAGA, R. F., ALMEIDA, R. J. Pesquisa sobre a Eficiência Informacional do Mercado Brasileiro nos Casos de Fusões e Aquisições. Anais ENANPAD, 2000.

BRUNI, A. L., FAMÁ, R. Uma Análise da Eficiência Informacional do Mercado de ADRs Brasileiros com Base em Testes de Auto-Correlação, Raiz Unitária e Cointegração. Anais ENANPAD, 2003.

CERETTA, Paulo S. Investigando a presença de caos no Ibovespa. *Revista eletrônica de administração*, ed. 29, n. 5, novembro 2003.

CONNELY, Thomas J., *Chaos theory and the financial markets. Journal of financial planning*, december 1996

FAMA, E., FRENCH, K. The cross-section of expected stock returns. *Journal of Finance*, v. 47 (2), p. 427-465, 1992.

FERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, F., SOSVILLA-RIVERO, S., GARCÍA-ARTILES, M. An empirical evaluation of non-linear trading rules. Working paper, n. 16, FEDEA, 2001.

GERSHENSON, Carlos. Introduction to Chaos in Deterministic Systems. *Working paper*. University of Sussex, Brighton, UK, 2003. Disponível em <http://orxiv.org/ftp/nlin/papers/0308/0308023.pdf>

GILMORE, R. Topological analysis of chaotic dynamical systems. *Review of Modern Physics*, v. 70, n. 4, p. 1455-1530, 1998.

GRASSBERGER, P.; PROCACCIA, I. Measuring the strangeness of attractors. *Physica D*, v. 9, p. 189-208, 1983.

HARRISON, David. An introduction to Chaos. *Working paper*. Department of Physics, University of Toronto. 1998. Disponível em <http://www.upscale.utoronto.ca/generalinterest/harrison/chaos/chaos.pdf>.

HSIEH, David A. Chaos and nonlinear dynamics: applications to financial markets. *The journal of finance*, v. 46, n.5, 1839-1877, december 1991.

MATSUSHITA, R., GLERIA, I., FIGUEIREDO, A., SILVA, S. Fractal Structure in the Chinese Yuan/US dollar rate. *Working Paper*. University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 2001. Disponível em http://www.ufrgs.br/ppge/pcientifica/2002_16.pdf

PEROBBELI, F. F. C, NESS, W. L. Reações do Mercado Acionário a Variações Inesperadas nos Lucros das Empresas: um Estudo sobre a Eficiência Informacional no Mercado Brasileiro. Anais ENANPAD, 2000.

POINCARÉ, H. *Science et Méthode*. Paris : Ernest Flammarion, 1908.