

SÉRIES ALEATÓRIAS, ANTIPERSISTENTES OU PERSISTENTES: UMA INVESTIGAÇÃO NO MERCADO ACIONÁRIO BRASILEIRO

RANDOM WALK, ANTI-PERSISTENT OR PERSISTENT SERIES: AN INVESTIGATION IN THE BRAZILIAN STOCK MARKET

Felipe Dias Paiva

Federal University of Lavras (UFLA - Brazil) and Federal Center for Technological Education (CEFET-MG - Brazil)
fpaiva@dcsa.cefetmg.br

Ricardo Pereira Reis

Federal University of Lavras (UFLA - Brazil)
ricpreis@dae.ufla.br

Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso

Federal Center for Techn. Education (CEFET-MG)
rodrigoc@des.cefetmg.br

Bruno Cândido Barroso

FAPEMIG/CEFET-MG
bbarrosobh@gmail.com

RESUMO

O conceito de mercado eficiente protagoniza ainda hoje intensos debates na comunidade acadêmica. Inúmeros estudiosos já se dedicaram à procura de dados passados, que permitam explicar e inferir valores futuros do mercado acionário. Contudo, segundo preceitos teóricos da hipótese de mercado eficiente, a tarefa de prever preços futuros tendo como base comportamentos passados de um ativo financeiro, é um procedimento ineficaz. Pois, a distribuição de uma série financeira denota de um movimento browniano, que é concebido por características randômicas e independentes. Desta forma, o presente trabalho objetivou investigar se as séries temporais dos retornos das principais ações do mercado brasileiro apresentam existência da memória de longo prazo, a fim de confirmar ou descartar a hipótese de *random walk*. Para tanto, foi definido como plano amostral desse estudo as ações pertencentes ao Índice da Bolsa de Valores de São Paulo (IBOVESPA), desde que estas ações tivessem tido alguma negociação em no mínimo 98% dos pregões da Bolsa de Valores de São Paulo no período de 03 de janeiro de 2000 a 09 de fevereiro de 2012. Após o filtro, chegou-se a um número de 29 ativos a serem investigados. Como estratégia metodológica para atingir o objetivo da pesquisa, calculou-se o expoente de Hurst de cada ação. Os resultados indicam que todas as séries dos ativos pesquisados possuem uma memória de longo prazo a um nível de significância de 5%. Concluiu-se então em primeiro lugar, que é possível identificar padrões de comportamento na cotação dos ativos. Estabelecendo, desta forma, condições básicas e desejáveis para que se utilize dados passados como estratégia de precificação. Como segundo ponto de conclusão, posiciona-se o presente trabalho no rol daqueles que questiona o uso absoluto e inquestionável do conceito de mercado eficiente, que apresenta fundamentações enfraquecidas e combatidas empiricamente.

PALAVRAS-CHAVE

Mercado Acionário Brasileiro, Mercado Eficiente, Caminho Aleatório, Coeficiente de Hurst.

ABSTRACT

The concept of efficient market still provokes intense debates in academic community. Numerous academics have dedicated themselves to search for past data, which could explain and hint stock market future values. However, according to theoretical assumptions of the efficient market

hypothesis, the task of predicting future prices, based upon past behavior of a financial asset, is an inefficient procedure. On the other hand, the distribution of a number of stock time series denotes a brownian motion, which is designed for random and independent characteristics. Thus, this study aimed to investigate whether the time series of returns of the Brazilian stocks present long-term memory existence in order to confirm or rule out the hypothesis of random walk. Therefore, it was defined as the sampling plan of this study, the actions belonging to the Index of the Stock Exchange of São Paulo (Bovespa Index), provided that these actions had some trading in at least 98% of the Stock Exchange of São Paulo in the period of January, 3rd 2000 to February, 9nd 2012. After filtering, 29 assets were to be investigated. As a methodological choice, we calculated the Hurst exponent of each stock. The results indicated that all series of assets surveyed had a long-term memory at a level of significance of 5%. First of all, it was concluded that it is possible to identify behavior patterns in the price of assets, thus establishing desirable and basic conditions to use historical data as pricing model. As second point of completion, it was possible to position itself in the list of studies that inquire about the absolute and unquestioned use of the concept of efficient market, which has been weakened by empirical foundations.

KEYWORDS

Brazilian Stock Market; Efficient Market, Random Walk, Hurst Coeficient.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de mercado eficiente protagoniza ainda hoje intensos debates na comunidade acadêmica. Inúmeros pesquisadores já se dedicaram à procura de dados passados, que permitam explicar e inferir valores futuros do mercado acionário, possibilitando, assim, ganhos extraordinários. Segundo Fama (1991), a hipótese de mercado eficiente (HME) se comprova quando os preços das ações refletem toda a informação disponível. Alexander, Sharper e Bailey (2000, p. 73) complementam afirmando que *“a market is efficient with respect to particular set of information if it is impossible to make abnormal profits (others than by chance) by using this set of information to formulate buying and selling decisions.”*.

De acordo com Brealey e Myers (1998, p. 323), caso o mercado de capitais seja eficiente, *“a compra ou venda de qualquer valor mobiliário ao preço vigente no mercado nunca será uma transação com valor presente líquido positivo.”* Ou seja, segundo os preceitos teóricos da HME, a tarefa de prever preços futuros tendo como base comportamentos passados de um ativo financeiro, é um procedimento ineficaz. Pois, a distribuição de uma série financeira denota de um movimento browniano, que é concebido por características randômicas e independentes.

Na contra-mão da concepção de mercado eficiente, apresenta-se alguns estudos que defendem que o mercado acionário na verdade não firma-se como aleatório, defendendo que as séries financeiras possuem memória de longo-prazo. Desta forma, desde que identificado padrões de comportamento, torna-se factível delinear um modelo de previsibilidade.

Assim, com o intuito de desenvolver um princípio teórico para o mercado financeiro mais próximo do campo empírico, destacam-se aqui as teorias do caos e dos fractais como aquelas que mais tem-se mostrado promissoras. Ressalta-se que, em ambas as teorias, seus pesquisadores firmam suas discussões a partir de uma adaptação aos estudos do hidrólogo Harold E. Hurst, com o intuito de discutir o comportamento das séries financeiras, verificando se estas obedecem ou não um caminho de aleatoriedade, demovendo por sua vez a ideia de eficiência e racionalidade ilimitada.

Dessa forma, o presente artigo propõe-se a verificar a presença de memória longa nas séries dos principais ativos financeiros da Bolsa de Valores de São Paulo, por meio do cálculo do coeficiente de Hurst. Os resultados aqui encontrados tendem a corroborar com a discussão do uso de métodos estatísticos e computacionais para previsão de valores futuros dos títulos mobiliários por meio do uso de dados históricos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. TEORIA DA ESPECULAÇÃO

O título desta seção em nada tem haver com a concepção negativa e pejorativa, que a palavra especulação denota em diversas situações. Na verdade, trata-se de uma alusão a tese de doutorado em matemática de um homem que esteve à frente de sua época. Feito o devido destaque, para que não haja qualquer ruído na proposta do texto, ressalta-se que a atual corrente dominante da Administração Financeira, denominada Moderna Teoria Financeira, teve seu início em 29 de março de 1900. Quando naquela data o francês Louis Jean-Baptiste Alphonse Bachelier defendeu sua tese de doutorado em matemática, intitulada: “*Théorie de la Spéculation*”.

Infelizmente, Bachelier não gozou em vida do justo reconhecimento¹ que seus estudos apresentaram para o desenvolvimento da *mainstream* da Administração Financeira. Numa vã tentativa de justificar o porque da sua teoria não ter sido, a contento da sua época, laureada por suas significativas contribuições para o mundo científico, Mandelbrot e Hudson (2004) citam que, em se tratando de um doutoramento em matemática o objeto de estudo proposto não despertava, para aquele período histórico, nenhum interesse entre os matemáticos, pois não abordava uma discussão de números complexos, teoria das funções, equações diferenciais, ou algum outro assunto considerado de relevância. Isso acabou por refletir no conceito da avaliação da sua tese que foi classificada pela banca como honrosa.

Contudo, esse conceito não tinha o “peso” necessário para credenciar um recém-doutor a ocupar uma “cadeira” em alguma universidade francesa. Segundo Taqqu (2001, p. 7), uma tese que recebia a menção de honrosa, enseja, em linhas gerais, a seguinte mensagem: “*that’s very good, mister, so long*”. Apenas as teses com o conceito muito honroso, oportunizavam aos seus autores pleitearem uma vaga na academia. Prova disso, é que somente no ano de 1927, Bachelier conseguiu ocupar um posto de professor efetivo, na Universidade de Besançon.

Mas, afinal do que se tratava a tese de Bachelier e quais foram as suas contribuições para a moderna teoria financeira? De acordo com Mandelbrot e Hudson (2004), Bachelier “aventurou-se” a escrever sobre o mercado acionário francês, uma proposta um tanto quanto arrojada, pois a temática mercado financeiro nem mesmo ostentava o *status* de disciplina acadêmica, apesar de já existirem algumas pouquíssimas opções bibliográficas.

Porém, as bolsas de valores já ocupavam uma posição de destaque para a saúde financeira das economias mundiais. Haja visto, que naquela época a Bolsa de Valores de Paris transacionava títulos da dívida pública do governo francês, sendo estes, por sua vez, uma das principais fontes de financiamento dos projetos daquele governo. Para que se tenha uma ideia, no ano de 1900, o governo francês já havia lançado no mercado um total de 26 bilhões de francos em títulos de renda, contra um orçamento público anual de 4 bilhões. (TAQQU, 2001).

Frente a esse contexto, a proposta de Bachelier foi de investigar as flutuações dos títulos do governo francês. Seu estudo centrava-se em associar as leis da probabilidade aos movimentos dos preços desses títulos. Sendo que, a sua hipótese resumiu-a se em: “*prices are not predictable, but their fluctuations can be described by the mathematical laws of chance. Therefore, their risk is measurable, and manageable.*” (MANDELBROT; HUDSON, 2004, p. 9).

Conforme Taqqu (2001), os resultados alcançados por Bachelier, deve-se em grande parte a notoriedade dos seus professores, que estiveram presentes na sua formação acadêmica na Sorbonne, desde os tempos de graduação. Entre eles destaque para Charles Émile Picard, Joseph

¹ Segundo Bernstein (1992), a tese de Bachelier esteve “ignorada” até que Jimmie Savage, um estatístico matemático de Chicago, redescobriu-a acidentalmente na década de 1950. Savage então chamou a atenção do economista Paul Samuelson sobre o trabalho de Bachelier, que foi encontrar um exemplar da sua tese na biblioteca do MIT. A partir deste momento, o mundo acadêmico despertou-se para as contribuições de Bachelier no âmbito econômico.

Valentin Boussinesq e Jules Henri Poincaré (seu orientador de doutorado). Sendo perceptível, a presença na sua tese da interdisciplinariedade de assuntos abordados na física e na matemática, assuntos estes aos quais os professores acima destacados lecionavam e pesquisavam.

The influences which determine fluctuations on the Exchange are innumerable; past, present, and even discounted future events are reflected in market price, but often show no apparent relation to price changes.[...] The determination of these fluctuations depends on an infinite number of factors; it is, therefore, impossible to aspire to mathematical prediction of it. Contradictory opinions concerning these changes diverge so much that at the same instant buyers believe in a price increase and sellers in a price decrease. [...] But it is possible to study mathematically the static state of the market at a given instant, to establish the law of probability of price changes consistent with the market at that instant. If the market, in effect, does not predict its fluctuations, it does assess them as being more or less likely, and this likelihood can be evaluated mathematically. (BACHELIER, 1900, p. 18)

Assim, a proposta de Bachelier fundamentou-se na ideia de que os preços dos títulos possuem uma série temporal de estado independente e de distribuição normal. Tendo ele inovado ao combinar o raciocínio da propriedade de Markov e semigrupos, além do movimento browniano à equação do calor, sendo que o modelo gaussiano é a solução fundamental para a equação do calor. Ele também definiu outros processos relacionados com o movimento Browniano, tais como a alteração máxima durante um intervalo de tempo (por um movimento Browniano dimensional), usando passeios aleatórios (*random walk*) e deixando os passos de tempo ir a zero, e por, em seguida, tendo limites. (JARROW; PROTTER, 2004)

Em resumo, conforme Andreasen, Jensen e Poulsen (1998), Bachelier defendeu que as flutuações dos títulos comercializados na bolsa de valores podem ser retratados a partir de um processo aleatório, onde seus movimentos são erráticos e imprevisíveis. Podendo assim, ser descrito a partir das leis matemáticas de probabilidade.

Desta forma, Bachelier destacou que, se o processo de flutuação de preços dos títulos são passíveis de serem descritos pelas leis da probabilidade, e que existem apenas duas situações que retratam seu estado de mudança, valorização ou desvalorização. Esse então, por sua vez, é análogo a um jogo honesto de moeda, onde o seu lançamento resultará em apenas um face descoberta, “cara” ou “coroa”.

Assim, tal como numa situação onde repetidas vezes uma moeda é lançada e ora o resultado é cara ora é coroa, no mercado financeiro, segundo a teoria de Bachelier, calcado nas ideias do movimento browniano, o resultado esperado por um especulador, após n período de tempo, sempre será zero. Ou seja, entre contínuos e descontínuos resultados de alta e de baixo dos preços dos títulos, haverá um momento onde estes se equilibram e se anulam, estabelecendo uma distribuição que segue os preceitos do teorema do limite central.

Uma vez que, a série de flutuações do títulos segue a uma distribuição normal (Gaussiana), inferise que o desvio-padrão descreverá função de dispersão da distribuição. Em atenção a todas essas condições, tem-se que: 68% das observações (ganho e perda) encontram-se entre o deslocamento de um desvio-padrão em relação a média; 95% das observações são apontadas entre dois desvios-padrão da média; e, 99,7% entre três desvios-padrão da média. (GUJARATI, 2006).

2.2. RANDOM WALK

Indubitavelmente um dos grandes legados da obra de Bachelier, para a Administração Financeira, foi discutir que os retornos das ações seguem o movimento browniano, ou seja, que as variações de preços das ações podem ser descritas por um comportamento de *random walk* (caminho aleatório).

Contudo, conforme já citado anteriormente, apesar da importância das ideias apresentadas por Bachelier, pois sustentam, direta ou indiretamente, todas as “grandes” teorias da Moderna Administração Financeira, elas apenas tornaram-se conhecidas do grande público acadêmico a

partir da década de 1950. Período este que coincide com um dos principais estudos da citada corrente, que ainda hoje tem seus conceitos propagados de forma dominante.

Esse primeiro estudo aplicado é atribuído às pesquisas de Harry Max Markowitz. Em sua tese de doutorado em economia, Markowitz propôs um modelo de diversificação de ações, a partir do binômio risco-retorno, traduzida pelas medidas média e variância. A distribuição Gaussiana e o comportamento aleatório das ações, é pressuposto básico e essencial para a teoria de diversificação.

Numa sequência histórica, tem-se o desenvolvimento da teoria denominada como *capital asset pricing model* (CAPM), sendo William Forsyth Sharpe o principal nome desse constructo teórico. Mas, que recebeu expressivas colaborações de James Tobin, John Virgil Lintner e Jan Mossin. O CAPM apresenta uma forma simplificada e prática de projetar a expectativa de ganho de um investidor. Segundo Peters (1991), o CAPM trata-se também de uma ferramenta bastante útil para o processo decisório de análise de investimentos em ativos permanentes. Mais uma vez, atribuir a série histórica de uma ação a lógica de uma distribuição Gaussiana e um comportamento aleatório, é básico e fundamental.

Outro estudo de destaque, remonta as pesquisas de Fischer Sheffey Black, Myron Samuel Scholes e Robert C. Merton, que propõem um modelo capaz precificar opções.

Assim, de acordo com Volchan (1999), o desenvolvimento dos citados modelos financeiros contribuem fortemente para dominação dos processos estocásticos no âmbito das discussões financeiras. Sendo que, a teoria dos processos estocásticos firma-se como um tópico central da teoria da distribuição probabilística. Conforme Gujarati (2006, p. 638), “*um processo aleatório ou estocástico é um conjunto de variáveis aleatórias ordenadas no tempo.*”

Segundo Dixit e Pyndyck (1993), pode-se representar uma estrutura básica de *random walk* por meio da equação a seguir:

$$y_t = y_{t-1} + \delta_t$$

Onde: $y_t = \log_e P_t$
 $y_{t-1} = \log_e P_{t-1}$
 $P_t =$ preço da ação no tempo t
 $t \in \square$
 $\delta_t =$ componente aleatório

A partir da equação acima, é possível perceber que o preço de ação no tempo t é dado pelo preço desta mesma ação no tempo $t-1$ mais um choque aleatório (δ_t). Esta variável aleatória também é conhecida como ruído branco (*white noise*). De acordo com Bueno (2011), uma série temporal será considerada estocástica se a variável aleatória tiver média zero, variância constante e autocorrelação igual a zero (série não-correlacionada). Ou seja, uma série temporal responderá a um processo *random walk*, se somente se uma sequência $\{\delta_t\}_{t=-\infty}^{\infty}$ de variáveis aleatórias assumirem as seguintes condições:

$$E(\delta_t) = 0; \forall t$$

$$E(\delta_t^2) = \sigma^2; \forall t$$

$$E(\delta_t \delta_{t-j}) = 0, \text{ todo } j \neq 0$$

Em relação a teoria financeira, Volchan (1999) expõe que as investigações que centram seus esforços em entender como os indivíduos aplicam seus recursos monetários, irão delinear seus modelos econométricos conforme os fatores: tempo (discreto ou contínuo), natureza (estocástico ou determinístico) e estado das variáveis (estacionário ou não-estacionário).

Especificamente, o modelo abordado por Bachelier (1900) está apoiado na concepção de processo estocástico não-estacionário de tempo contínuo. Ou seja, Bachelier (1900) propôs um modelo onde os preços do mercado mobiliário evoluíam ao longo do tempo de maneira correlata ao movimento browniano.

O nome de movimento browniano advém da homenagem que se faz ao botânico escocês Robert Brown, que em 1827 por meio de um estudo microscópico constatou que minúsculos grãos de pólen em suspensão em um líquido movimentavam de forma errática. Ele apurou também que quanto menores as partículas de pólen mais rápido era o seu deslocamento, e que os movimentos também eram influenciados pelo calor e viscosidade do líquido. (WIERSEMA, 2008).

A que se ressaltar que Bachelier (1900) foi pioneiro no uso das ideias de Brown, e que o seu propósito era de aplicação do modelo e não de aperfeiçoá-lo as conclusões do evento físico de que trata a experiência de Robert Brown. De acordo com Volchan (1999), o rigor matemático e estatístico da experiência das partículas de grão de pólen, seria mais tarde explicado por Albert Einstein em 1905, Marian Smoluchowski em 1906 e, principalmente, por Norbert Wiener em 1923.

Segundo Wiersema (2008), a análise física do modelo browniano sugere que:

- trata-se de um evento contínuo;
- os deslocamentos temporais de uma partícula são independentes;
- cada evento de deslocamento é causado por um bombardeamento independente de um grande número de moléculas, que de acordo com o teorema do limite central da probabilidade a soma de um grande número de variáveis aleatórias idênticas e independentemente distribuídas (*i.i.d.*) presume-se uma distribuição normal;
- o movimento ocorre de maneira irregular, sem assumir qualquer direção preferida;
- em decorrência da posição da partícula se “espalhar” com o tempo, assume-se que a variância do evento é proporcional ao comprimento do tempo que o movimento é observado.

Assim, de acordo com Dixit e Pyndyck (1993), o movimento browniano fundamenta-se em três pressupostos básicos: a) processo de Markov; b) incrementos independentes; c) distribuição normal.

A) Processo de Markov

Segundo o processo de Markov o valor de uma variável em t dependerá, única e exclusivamente, do valor da mesma variável em $t-1$. Os valores em $t-2$, $t-3$, $t-n$, são irrelevantes nesse processo, uma vez que se conhece o valor em $t-1$.

Ou seja, entende-se que basta a informação atual para prever a trajetória futura do processo. A ideia apregoada é que os preços das ações são frequentemente modelados como processos de Markov, com o fundamento de que a informação pública é rapidamente incorporados no preço atual da ação, de modo que o padrão de preços do passado não tem valor de preditório. Tal descrição, foi então utilizada para fundamentação da hipótese de mercado eficiente (HME).

Segundo Fama (1991), a hipótese de mercado eficiente se comprova quando os preços das ações refletem toda a informação disponível. Alexander, Sharper e Bailey (2000, p. 73) completam afirmando que “*a market is efficient with respect to particular set of information if it is impossible to make abnormal profits (others than by chance) by using this set of information to formulate buying and selling decisions*”.

Ross et al. (2002) condensam os dois pensamentos anteriores, afirmando que:

- devido ao fato dos preços das ações refletirem as informações disponíveis, os investidores não devem esperar mais que uma taxa de retorno normal. O conhecimento da informação, não capacita nenhum investidor a conseguir taxas melhores de retorno. O preço ajusta-se antes que se negocie a ação de posse da informação;
- os tomadores de recursos devem esperar receber o preço justo dos títulos que vendem, ou seja, o preço que é recebido pela venda dos títulos deve ser igual ao seu valor presente. Portanto, em mercados eficientes de capitais não aparecem oportunidades valiosas de financiamento decorrentes de enganar os investidores.

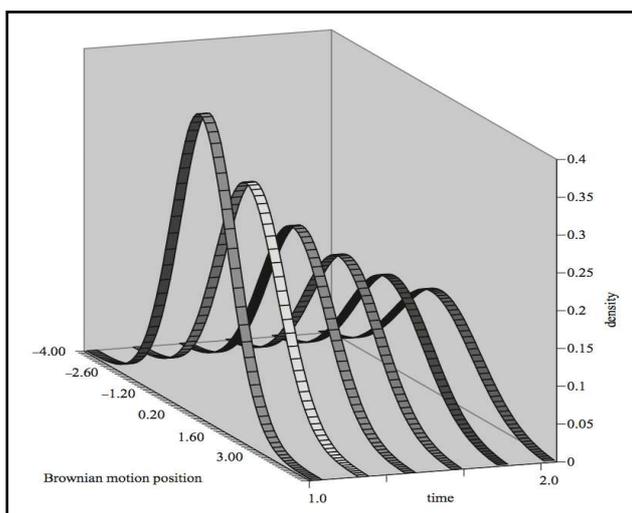
De acordo com Brealey e Myers (1998, p. 323), caso o mercado de capitais seja eficiente “a compra ou venda de qualquer valor mobiliário ao preço vigente no mercado nunca será uma transação com valor presente líquido positivo”.

B) Incrementos independentes

A sinalização de que o movimento browniano possui incrementos independentes. Isto significa que a distribuição de probabilidade para que a alteração no processo através de qualquer intervalo de tempo é independente de qualquer outro intervalo de tempo (não sobrepostas).

A distribuição de probabilidade depende apenas da espaçamento de tempo, é a mesma para todos os intervalos de tempo que têm o mesmo comprimento. À medida que o desvio padrão no tempo t é \sqrt{t} , quanto mais tempo o processo tenha sido executado, o mais espalhada é a densidade, tal como ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Densidade movimento browniano



Fonte: Wiersema (2008, p. 4)

C) Distribuição normal

A última propriedade que um movimento browniano precisa atender, refere-se a necessidade de as alterações no processo frente a qualquer intervalo de tempo finito devem ser normalmente distribuídas, com uma variância que aumenta linearmente com o intervalo de tempo. De acordo com Costa (2012), as propriedades de uma distribuição normal são:

- I- a variável aleatória δ pode assumir todo e qualquer valor do conjunto de números reais;
- II- o formato da distribuição normal assemelha-se ao formato de um sino;
- III- a área total limitada pela curva e pelo eixo das abscissas é igual a 1;
- IV- a curva normal é assintótica em relação ao eixo das abscissas, contudo não chega a tocá-la;
- V- o formato simétrico da curva em torno da média, indica que a probabilidade de surgir um valor maior que a média é igual a probabilidade de ocorrer um valor menor do que a média.

Assim, tem-se que a variável aleatória responde a distribuição normal desde que $\delta \sim N(0,1)$.

2.3. MERCADO FINANCEIRO: ALEATÓRIO OU PREVISÍVEL?

O estudo do hidrólogo Harold E. Hurst, teve como cenário de discussão as cheias do Rio Nilo. Seu objetivo foi verificar se havia um padrão de memória ligada a esses eventos ou se estes acontecimentos não passavam de eventos aleatórios independentes. Esses estudos então, culminaram no desenvolvimento da estatística conhecida como Coeficiente de Hurst (H).

A utilização do coeficiente de Hurst no mercado financeiro remonta os estudos de Mandelbrot na década de 1960, quando o mesmo questionou o movimento browniano clássico, propondo o movimento browniano fractal. Segundo Peters (1991), H possui uma vasta aplicabilidade para análises de séries temporais, dado que o mesmo a considera legitimamente robusta. Ele é capaz de distinguir uma série aleatória a partir de uma série não aleatória, mesmo que a série aleatória seja não-gaussiana.

Sua operacionalização em séries temporais financeiras deverá atender os passos indicados a seguir, conforme apregoa Peters (1994).

1º. Calcula-se o retorno logaritmo da série financeira.

$$N_i = \ln \left(\frac{M_{it}}{M_{it-1}} \right)$$

Onde: M_{it} = representa o preço da ação i ao final do período t ;
 M_{it-1} = representa o preço da ação i no início do período t .

2º. Particiona-se a série financeira em frações temporais e calcula-se a média de cada conjunto de dados.

$$e_a = \left[\left(\frac{1}{n} \right) * \sum_{k=1}^n N_{k,a} \right]$$

e_a = valor médio do log retorno do ativo financeiro
 n = número de elementos por partição

3º. Calcular o desvio acumulado de cada série particionada.

$$X_{k,a} = \sum_{j=1}^k (N_{j,a} - e_a)$$

Onde, cada retorno de uma série particionada (I_a) possui um grupo de retornos do ativo, representado por $k = 1, 2, 3, \dots, n$.

$X_{k,a}$ = desvios acumulados em relação a e_a

4º. Verificar quais são os pontos máximos e mínimos do conjunto I_a . Seguido da diferença entre estes.

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a})$$

enquanto que, $1 \leq k \leq n$

5º. Calcula-se o desvio-padrão de cada partição.

$$S_{I_a} = \left[\left(\frac{1}{n} \right) * \sum_{k=1}^n (X_{k,a} - e_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

S_{I_a} = desvio padrão de cada partição

6º. A série A valores R_{I_a} é normalizada dividindo estes valores de amplitude pelos correspondentes desvios padrões S_{I_a} .

$$\left(\frac{R}{S} \right)_n = \left(\frac{1}{A} \right) * \sum_{a=1}^A \left(\frac{R_{I_a}}{S_{I_a}} \right)$$

7º. Para concluir o processo de mensuração do expoente de Hurst, calcula-se uma regressão linear simples, atribuindo como variável dependente $\ln R/S_n$ e variável independente $\ln n$. Os passos de 1 a 6 devem ser repetidos várias vezes, mas com tamanhos de partições diferentes, até que haja um número suficiente de dados para calcular a regressão e que a série tenha sido calculada numa ordem decrescente de partições, até o momento em que toda a série limite-se há 02 partições apenas.

$$\ln (R/S)_n = \ln a + b * \ln (n)$$

Onde: a = intercepto;

b = coeficiente de Hurst

Calculado o coeficiente de Hurst, ter-se-á as seguintes possibilidades de resultado:

- $0 < H < 0,5$: série antipersistente, ou simplesmente significa comportamento de reversão. Ou seja, há uma probabilidade maior que 50% de um valor negativo ser precedido de um positivo. A força desse comportamento dependerá do quão próximo de zero seja o H ;
- $H = 0,5$: série apresenta uma distribuição aleatória. Assim, a variação dos desvios cumulativos devem aumentar proporcionalmente a raiz quadrada da variável tempo;
- $H > 0,5$: série persistente, há probabilidade de repetição de um valor concentra acima dos 50%. Sendo assim, justifica-se precificar ativos financeiros com base em dados históricos, quando o coeficiente de Hurst indicar um valor diferente de 0,5.

3. METODOLOGIA

Para a classificação da pesquisa, foram tomados como base os critérios apresentados por Vergara (1998), que qualifica a pesquisa em relação a duas vertentes: quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, consistiu em uma pesquisa conclusiva, pois é um tipo de pesquisa que testa hipóteses e examina relações específicas entre variáveis.

Quanto aos meios, trata-se de uma pesquisa *ex-post-facto* e bibliográfica. A investigação é *ex-post-facto*, em função de se referir a um fato já ocorrido. Conforme Vergara (1998), esse tipo de investigação é

recomendado quando o pesquisador não pode controlar ou manipular variáveis, porque suas manifestações já ocorreram, pois as variáveis não são controláveis. Para Gil (1989), na pesquisa *ex-post-facto*, a manipulação das variáveis independentes é impossível, pois estas chegam até o pesquisador já prontas. É também bibliográfica porque recorreu-se ao uso de materiais acessíveis ao público em geral, como livros, artigos, notícias, cotações de ações e índices de mercado.

Quadro 1: Ações selecionadas para comporem a amostra da pesquisa

Cód. Ativo	Empresa	Cód. Ativo	Empresa
AMBV4	Ambev	LAME4	Lojas Americanas
BBDC4	Bradesco	OIBR4	Oi
BBAS3	Banco do Brasil	PCAR4	Pão de Açúcar
BRKM5	Braskem	PETR3	Petrobrás
CMIG4	Cemig	PETR4	Petrobrás
CPLE6	Copel	SBSP3	Sabesp
ELET3	Eletrobrás	CSNA3	Sid. Nacional
ELET6	Eletrobrás	CRUZ3	Souza Cruz
EMBR3	Embraer	VIVT4	Telefônica Brasil
GGBR4	Gerdau	TIMP3	Tim
GOAU4	Gerdau	TRPL4	Tran. Paulista
ITSA4	Itaú	USIM5	Usiminas
ITUB4	Itaú Unibanco	VALE3	Vale
KLBN4	Klabin	VALE5	Vale
LIGT3	Light		

Fonte: Adaptado Economática (2012)

A essência investigativa do presente trabalho é a pesquisa quantitativa que, segundo Alves-Mazzotti e Gewandsznajder (2001), é um método de investigação que torna os conceitos mais precisos, além de dar mais informações sobre os fenômenos, devido ao rigor estatístico na análise dos dados coletados.

Para a elaboração do presente artigo, foi utilizado como objeto de estudo as séries históricas dos ativos financeiros que possuíam participação no Índice da Bolsa de Valores de São Paulo (IBOVESPA) em 30/05/2012, desde que estes ativos tenham apresentado no mínimo uma negociação em 98% dos pregões da Bolsa de Valores de São Paulo no período de 03 de janeiro de 2000 a 09 de fevereiro de 2012. As informações foram conseguidas por meio do banco de dados da Economática, sendo que as cotações diárias foram ajustadas (dividendos, bonificações, *split* e *inplit*), os ativos que porventura não tiveram negociação em datas específicas, optou-se o critério de reproduzir a cotação do dia anterior mais próximo. Após o filtro, chegou-se a um número de 29 ativos a serem investigados, os mesmos estão listados no Quadro 1.

Para tratamento quantitativo dos dados, recorreu-se dos softwares Excel, SPSS e *Gretl*. Numa primeira etapa, gerou-se algumas medidas de estatística descritiva, com intuito de ter uma melhor visão geral dos dados. Em seguida, a fim de atender o objetivo principal da pesquisa calculou-se o coeficiente Hurst. Para tanto, utilizou-se séries financeiras de 3.000 pontos de observação, acolhendo assim recomendações de Feder² (1988) apud Souza, Tabak e Cajueiro (2006), que sugere uma quantidade mínima de 2.500 observações. As séries foram particionadas 29 vezes para que se pudesse gerar a regressão linear simples.

² FEDER, J (1988), *Fractals*, Plenum Press, New York.

4. RESULTADOS

Uma vez apurado a base de dados necessária para realização da pesquisa, iniciou-se a mesma elaborando gráficos de distribuição da cotação diária e de \ln -retornos de cada um dos ativos do estudo, o resultado está exposto no Apêndice A e B.

Tabela 1: Estatística descritiva dos ativos pesquisados

Ativo	Média	DP	CV	Máx.	Mín.	Assimetria	Curtose	Jarque-Bera	
								Estatística	p-valor
AMBV4	0,102	2,074	20,333	10,964	-16,207	-0,088	4,421	2436,470	0,000
BBDC4	0,081	2,408	29,728	19,989	-12,212	0,274	3,492	1558,960	0,000
BBAS3	0,099	2,765	27,929	18,826	-16,683	0,202	2,919	1080,740	0,000
BRKM5	0,039	2,850	73,077	19,258	-15,415	0,218	2,463	778,027	0,000
CMIG4	0,071	2,439	34,352	10,943	-12,990	0,095	1,229	192,214	0,000
CPLE6	0,042	2,601	61,929	15,556	-11,230	0,126	1,769	396,819	0,000
ELET3	0,019	2,899	152,579	13,756	-16,318	0,087	1,798	405,785	0,000
ELET6	0,034	2,793	82,147	18,104	-13,412	0,195	1,871	454,333	0,000
EMBR3	0,031	2,649	85,452	14,552	-18,232	-0,163	3,891	1897,770	0,000
GGBR4	0,091	2,774	30,484	16,887	-16,135	-0,033	2,396	714,696	0,000
GOAU4	0,102	2,610	25,588	17,670	-15,960	0,018	2,772	955,893	0,000
ITSA4	0,091	2,351	25,835	22,432	-12,279	0,414	5,014	3215,050	0,000
ITUB4	0,076	2,458	32,342	21,004	-12,942	0,393	4,178	2250,520	0,000
KLBN4	0,072	2,832	39,333	16,730	-13,119	0,258	2,065	563,345	0,000
LIGT3	-0,017	3,143	184,882	21,799	-21,533	0,229	4,620	2682,800	0,000
LAME4	0,124	2,989	24,105	24,720	-17,395	0,470	4,893	3091,140	0,000
OIBR4	0,014	2,807	200,500	20,955	-18,010	0,240	3,832	1855,950	0,000
PCAR4	0,033	2,303	69,788	14,170	-10,821	0,185	2,156	595,198	0,000
PETR3	0,075	2,423	32,307	13,957	-14,911	0,051	3,580	1596,290	0,000
PETR4	0,068	2,302	33,853	13,246	-14,804	-0,099	3,556	1578,860	0,000
SBSP3	0,053	2,598	49,019	15,574	-16,152	0,001	2,603	842,890	0,000
CSNA3	0,111	2,869	25,847	19,628	-18,771	0,048	3,476	1504,590	0,000
CRUZ3	0,116	2,296	19,793	16,353	-11,088	0,183	2,677	908,142	0,000
VIVT4	0,051	2,140	41,961	12,962	-20,614	-0,260	5,100	3271,640	0,000
TIMP3	0,035	3,492	99,771	26,193	-25,741	-0,045	5,048	3173,580	0,000
TRPL4	0,109	2,879	26,413	30,732	-14,493	0,506	6,981	6195,760	0,000
USIM5	0,079	3,057	38,696	16,628	-15,968	0,030	1,863	431,845	0,000
VALE3	0,101	2,423	23,990	13,556	-20,552	-0,080	4,547	2576,590	0,000
VALE5	0,096	2,337	24,344	12,566	-16,443	-0,080	3,567	1586,990	0,000

Fonte: Dados da pesquisa (2012)

Em seguida, utilizou-se de algumas ferramentas da estatística descritiva para sumarizar cada uma das séries dos ativos da amostra. Assim sendo, a Tabela 1 apresenta algumas estatísticas descritivas das séries \ln -retornos diários dos ativos ora pesquisados. Destaca-se aqui, a média de todas as séries são estatisticamente diferentes de zero, para um nível de significância de 95%. Com relação ao coeficiente de variação de Pearson, verifica-se índices bastante altos, indicando assim alta dispersão dos dados. Constatação reforçada pelos valores de máximo e mínimo dos \ln -retornos dos ativos. Quanto a assimetria dos dados, inferi-se que a maioria das séries possuem uma assimetria positiva,

sendo que algumas num grau forte, tais como: ITSA4, ITUB4, LAME4 e TRPL4. Destaca-se também os valores altos para os índices de curtose de Pearson dos ativos, colocando sob suspeita o padrão de distribuição das séries temporais. A fim de confirmar a suspeita levantada anteriormente, recorreu-se ao teste de normalidade Jarque-Bera, onde é possível observar a rejeição, ao nível de confiança de 99%, da hipótese nula de normalidade da série, indicando assim que todas as séries não seguem uma distribuição gaussiana, o que confirma as características das séries financeiras apresentadas pelos valores de curtose e assimetria.

O próximo passo foi verificar se as séries dos ativos pesquisados apresentam uma memória de longo prazo. Para tanto, conforme já destacado, utilizou-se o coeficiente de Hurst.

Como procedimento de mensuração do coeficiente de Hurst, a estatística R/S foi calculada para 29 variações simétricas de partições, para que em seguida fosse possível gerar um modelo de regressão linear simples, resultando assim na indicação do coeficiente de Hurst de cada ativo. Lembrando que, o ln do número de observações por partição (n) foi utilizado como variável independente e o ln da estatística R/S como variável dependente.

O resultado do coeficiente de Hurst de cada ativo está apresentado na Tabela 2, exposta a seguir.

Conforme pode-se perceber pela Tabela 2, todos os coeficientes de Hurst dos ativos apresentaram valores acima de 0,50, para um nível de significância de 5%. Desta forma, os resultados evidenciam que as séries dos ativos pesquisados possuem características de memória de longo prazo. Ou seja, o impacto que ocorre no retorno de cada ativo, tende a repercutir por vários dias.

Tabela 2: Coeficiente de Hurst dos ativos pesquisados

Ativo	Coef. Hurst	Ativo	Coef. Hurst
AMBV4	0,5815	LAME4	0,6393
BBDC4	0,5840	OIBR4	0,5665
BBAS3	0,5741	PCAR4	0,5921
BRKM5	0,6565	PETR3	0,5882
CMIG4	0,5645	PETR4	0,5908
CPLE6	0,5615	SBSP3	0,5845
ELET3	0,5690	CSNA3	0,6157
ELET6	0,5614	CRUZ3	0,5659
EMBR3	0,6015	VIVT4	0,5900
GGBR4	0,6129	TIMP3	0,5398
GOAU4	0,6149	TRPL4	0,5717
ITSA4	0,5878	USIM5	0,6229
ITUB4	0,5713	VALE3	0,5749
KLBN4	0,5806	VALE5	0,5711
LIGT3	0,5823		

Fonte: Dados da pesquisa (2012)

5. CONCLUSÕES

O presente artigo foi elaborado com o objetivo de verificar se as séries dos principais ativos do mercado brasileiro possuem um comportamento aleatório, persistente ou anti-persistente. Para tal, foi calculado o coeficiente de Hurst. Assim, a partir dos resultados obtidos, conclui-se que a série

financeira da amostra selecionada não segue uma distribuição aleatória. Especificamente, ficou constatado que o perfil das séries apresentam características de memória longa persistente.

Esses resultados apresentados vêm a reforçar o discurso da necessidade de repensar as bases dos principais modelos da teoria das finanças modernas, que estão arraigados na proposta da hipótese de mercado eficiente, que, por sua vez, possui um papel determinante na concepção dos decisores-chave do processo de investimento: risco e retorno. Ou seja, dados empíricos explicitam a fragilidade de se sustentar os pressupostos teóricos do modelo de mercado eficiente, pois o comportamento dos preços dos ativos financeiros (retornos) não apresenta um padrão de *random walk*. Contudo, os resultados também não denotam que as séries históricas se “encaixam” com perfeição em modelos determinísticos. “I do not believe that the Market is grossly imperfect. In fact, I do not know why the process I see going on in the Market is not worthy of the name perfection too.” (COOTNER, 1962, p. 25)

Desta forma, ao assumir haver uma importante lacuna, que separa o teórico do empírico, é esperado que a comunidade acadêmica empreenda esforços para desenvolver alicerces mais coerentes com o real comportamento do mercado financeiro, a fim de refinar os padrões de gestão do risco e retorno. Assim, dado o entendimento que as séries históricas, dos ativos e períodos aqui pesquisados, apresentam padrões de memória longa persistente, é possível aferir ser pertinente a busca por modelos que identifiquem padrões de comportamento na cotação dos preços desses ativos financeiros. Uma vez que, ficou comprovado existir condições básicas e desejáveis, para que se utilize dados passados como estratégia de precificação de títulos mobiliários. Sendo que, dado os avanços computacionais nos últimos anos, modelos de previsão arraigados nesse tipo de tecnologia, aliados com técnicas de sistemas inteligentes parecem ser bastante promissores, em razão da capacidade que estas técnicas têm de melhor gerir sistemas com arquiteturas complexas.

Espera-se então, que os resultados dessa pesquisa sirva de estímulo para futuras discussões e aprofundamento de modelos que permitam uma maior aproximação entre teórico e empírico. Pois, a HME, base de diversas teorias da administração financeira, mostra-se frágil ao se apoiar na concepção de aleatoriedade da distribuição das séries financeiras.

BIBLIOGRAFIA

- Alexander, G. J., Sharper, W. F. & Bailey, J. V (2000). *Fundamentals of Investments*. New Jersey: Prentice Hall.
- Alves-Mazzotti, A. J. & Gewandsznajder, F (2001). *O Método nas Ciências Naturais e Sociais: Pesquisa Quantitativa e Qualitativa*. São Paulo: Pioneira.
- Bachelier, L. (1900). Théorie de la Spéculation. *Annales Scientifique de l'École Normale Supérieure*, 17, 21-86.
- Bernstein, P. L. (1992). *Capital Ideas: The Improbable Origins of Modern Wall Street*. New York: Maxwell Macmillan International.
- Brealey, R. A. & Myers, S. C (1998). *Princípios de Finanças Empresariais*. Lisboa: McGraw-Hill de Portugal.
- Bueno, R. L. (2011), *Econometria de Séries Temporais*. São Paulo: Cengage.
- Cootner P. H. (1962). Stock Prices: Random vs. Systematic Changes. *Industrial Management Review*, 3 (2), 24-45.
- Costa, G. G. O. (2012). *Curso de Estatística Inferencial e Probabilidades*. São Paulo: Atlas.
- Dixit, A. K. & Pyndyck, R. S, (1993). *Investment under Uncertainty*, New Jersey: Priceton University Press.
- Fama, E. F. (1991). Efficient Capital Markets: II. *Journal of Finance*, Oxford, 46 (5), 1575- 1617.
- Gil, A. C (1989). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- Gujarati, D. N. (2006). *Econometria Básica*. São Paulo: Makron Books.
- Jarrow, R. & Protter, P. (2004). A Short History of Stochastic Integration and Mathematical Finance: The Early Years, 1880-1970. *IMS Lecture Notes Monograph*, 45, 1-17.

- Mandelbrot, B. & Hudson, R. L. (2004). *The (Mis)Behavior of Markets: a Fractal View of Financial Turbulence*. New York: Basic Books.
- Peters, E. E (1991). *Chaos and Order in the Capital Markets*. New York: John Wiley and Sons.
- Peters, E. E (1994). *Fractal Market Analysis: Applying Chaos Theory to Investment and Economics*. New York. John Wiley and Sons.
- Souza, S. R. S., Tabak, B. M.& Cajueiro, D. O. (2006). Investigação da memória de longo prazo na taxa de câmbio no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, 60, 193-209.
- Taqqu, M. S. (2001). Bachelier and his Times: a Conversation with Bernard Bru. *Finance and Stochastics*, 5 (1), 3-32.
- Vergara, S. C (1998). *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração*. São Paulo: Atlas.
- Volchan, S. B. (1999). Modelos Matemáticos em Finanças: Avaliação de Opções. *Revista Matemática Universitária*, 26-27, 67-127.
- Wiersema, U. (2008). *Brownian Motion Calculus*. New York: John Wiley and Sons.