

Análise Multifractal do Mercado de Bitcoins

Natalia Diniz Maganini

Faculdade de Economia Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEA-RP/USP) e
Estácio/ Uniseb
Av. dos Bandeirantes, n. 3900, Monte Alegre, Ribeirão Preto-SP
nataliadiniz@usp.br

Antônio Carlos Da Silva Filho

Centro Universitário Municipal de Franca (UNIFACEF)
Av. Doutor Ismael Alonso y Alonso, n. 2400, São José, Franca-SP
acdassf@uol.com.br

Eduardo Fonseca de Almeida

Faculdade de Economia Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto (FEA-RP/USP)
Av. dos Bandeirantes, n. 3900, Monte Alegre, Ribeirão Preto-SP
edufons@gmail.com

Resumo

O surgimento e crescimento do uso de criptomoedas baseadas na tecnologia Blockchain, em tempos recentes, aumenta o interesse pelo estudo da sua dinâmica econômica e características financeiras. O Bitcoin é, atualmente, a criptomoeda mais conhecida e disseminada, com maior volume de transações, valor de mercado e aceitação em serviços de câmbio. Com o objetivo de contribuir para a análise do comportamento de preços do mercado do Bitcoin, este estudo analisa se a série histórica dos preços desta moeda, cotadas de 12 em 12 horas no período de 14 de setembro de 2011 a 20 de novembro de 2017, possui características multifractais. Os resultados da pesquisa foram positivos. Além disso, percebe-se que tanto correlações de longo alcance como a distribuição das caudas gordas, contribuem para o comportamento multifractal do Bitcoin.

Palavras chave: Criptomoedas, MFDFA, Bitcoin.

Abstract

The recent emergence and use growth of cryptocurrencies based on Blockchain technology increased interest in the study of its economic dynamics and financial characteristics. Bitcoin is up to now the more widely known and disseminated cryptocurrency, with greater volume of transactions, market value and acceptance in exchange services. The behavior of the users of Bitcoin seems to be towards both at exchanging goods and services as well as market speculation, making it a currency seen as a medium of exchange, store of value and investment asset. In order to contribute to the comprehension of the price behavior of the Bitcoin market, this study analyzes whether the historical series of prices of this currency, quoted daily from January 2013 to June 2017, has multifractal characteristics. The results of the research identified multifractal characteristics in the series and that both long-range correlations and the distribution of fat tails contribute to Bitcoin's multifractal behavior.

Key words: cryptocurrencies, MFDFA, Bitcoin.

INTRODUÇÃO

A ideia do uso de criptomoedas surgiu nos círculos científicos e culturais de pesquisa em criptografia. O movimento cultural em torno do uso de criptografia é motivado pelos valores de privacidade e anonimato dos cidadãos perante o estado, a partir do qual surgiram discussões a respeito de troca de mensagens anônimas, assinatura digital e moedas eletrônicas. Em 1982, David Chaum propôs um meio de pagamento eletrônico anônimo chamado ecash, o qual era baseado em assinaturas cegas e era offline, modelo que ele próprio aperfeiçoou em 1990. Em anos seguintes, outros pesquisadores desenvolveram novos sistemas que adicionavam características computacionais ao conceito de criptomoeda [33].

Foi apenas em 2008 que um pesquisador ou grupo de pesquisadores sob o pseudônimo de Satoshi Nakamoto divulgou um artigo descrevendo um sistema descentralizado e pseudo-anônimo de criptomoeda que permitiria uma implementação prática, o Bitcoin. Esse sistema resolvia o problema de evitar transação duplicada de uma moeda eletrônica em uma rede descentralizada peer-to-peer [34], além de incorporar os desenvolvimentos de modelos anteriores de criptomoedas. Posteriormente, o modelo Bitcoin foi implementado, iniciando as transações da moeda de mesmo nome, e a tecnologia abstrata por trás desse sistema passou a ser conhecida pelo nome Blockchain.

O modelo Blockchain usa criptografia em seus elementos estruturais: os usuários das moedas possuem carteiras representadas por assinaturas eletrônicas e cada unidade da moeda também é representada por uma cadeia de transações em que os blocos mais recentes são formados por hashes gerados a partir de blocos anteriores. Essa estrutura permite o anonimato dos usuários e a garantia de que a cadeia de blocos de transações não pode ser alterada, o que faz com que os agentes confiem na unicidade e autenticidade de cada bitcoin.

As unidades de bitcoins não são armazenadas em forma de arquivos nos computadores de seus proprietários, mas sim como um registro de transação em um banco de dados distribuído entre computadores conectados à internet. Diversos participantes da rede podem se tornar nós do sistema, nos quais a cadeia de blocos de transações será replicada localmente. A integridade do histórico de registros é garantida pelo algoritmo criptográfico que caracteriza o Blockchain. Essa estrutura de distribuição em rede permite que as transações dos bitcoins seja consultada de forma transparente, sem necessidade de uma organização centralizada, e as transações podem ocorrer a qualquer momento.

O sistema do Blockchain permite que se crie um "token", sendo que o número total deles é gerado dentro de limites técnicos e de consenso da comunidade que mantém sua estrutura. Essas limitações técnicas e socialmente aceitas criam uma situação de escassez artificial de unidades, a qual atribui ao Bitcoin e outras moedas baseada em Blockchain características de uma moeda fiduciária, como conversibilidade e fungibilidade. No entanto, há críticas a essa criptomoeda a respeito de uma real possibilidade de uso como moeda, como [35], que afirma que "uma moeda fiduciária funciona como um meio de troca, uma reserva de valor e uma unidade de contabilização, mas o Bitcoin falha de forma geral em satisfazer esses critérios".

Até o momento, o Bitcoin não é amplamente regulado ou garantido por bancos centrais ou comissões de valores mobiliários, apesar de haver discussões nesse sentido. A dinâmica de valor e uso dessa criptomoeda se dá pela existência de um mercado e pela sua evolução técnica.

A transação de bitcoins ocorre de carteira a carteira: uma quantidade da moeda é passada de uma assinatura eletrônica para outra, e essa transação é registrada na cadeia de blocos. A forma mais simples de transação ocorre diretamente, como com papel moeda, em forma de doação, troca por produto ou troca por outra moeda por um preço acordado. Como as transações podem ocorrer online, sem necessidade de encontro presencial, surgiu a necessidade por serviços como corretoras de câmbio e sistemas intermediadores de pagamento [36], os quais garantem a efetividade e confiança do processo, além de registrar e publicar os sinais de preço de mercado para a conversão da moeda.

Além dos serviços de intermediação, surgiram lojas, serviços que exibem mapas de comerciantes e caixas automáticos que aceitam bitcoin. O aumento de popularidade da moeda digital, a facilidade de sua troca

e a divulgação dos retornos sobre seu valor de mercado atraem novos usuários. Sua atração se dá tanto por continuar trazendo ganhos sobre investimento especulativo, como por facilitar as transações online, principalmente além das fronteiras nacionais [35].

Apesar de o Bitcoin receber as denominações de criptomoeda, moeda digital ou moeda virtual, as suas características financeiras e econômicas ainda estão sendo desenvolvidas e compreendidas. [37] faz uma análise da volatilidade de preços do Bitcoin com o método GARCH, comparando-o aos preços do ouro e do dólar, e avalia que a criptomoeda se comporta de maneira intermediária, tanto como reserva de valor e quanto como meio de troca. A volatilidade de seus retornos "é sensível a certos choques, pode ter uma tendência temporal positiva e mostra uma clara não-estacionariedade. Os gráficos sugerem um comportamento de passeio aleatório". A mesma autora infere que, devido à relação entre a variabilidade de preços do Bitcoin e outros ativos, ele pode ser um ativo interessante para composição de carteiras e diluição de riscos.

A expectativa de preços futuros do Bitcoin depende de diversos fatores legais, sociais e tecnológicos. Entre eles, a aceitação do uso da moeda no dia-a-dia e a superação de limites para que isso ocorra, a possibilidade de que governos venham a regular suas transações, a sua superação por criptomoedas concorrentes com melhores características, as disputas dentro da comunidade curadora da tecnologia em que se baseia ou seu próprio aperfeiçoamento tecnológico.

Assim, a expectativa pela rentabilidade nos preços futuros do Bitcoin faz com que os investidores comprem Bitcoins e isso torna o comportamento da criptomoeda muito próximo ao comportamento do mercado de ações, câmbio, preço do ouro, dentre outros. Para apoiar tal afirmação, o próximo tópico deste artigo apresenta a série de preços graficamente e os resultados das estatísticas descritivas para o comportamento dos preços da série do Bitcoin.

Sabe-se que evidências do comportamento multifractal em séries temporais financeiras já foram amplamente estudados para séries do mundo todo, como por exemplo: ações, câmbio, preço do ouro, dentre outros [2-32]. Entretanto não existem estudos da análise multifractal do Bitcoin. Observando a lacuna existente na literatura, esta pesquisa tem como diferencial estudar se o mercado do Bitcoin apresenta um comportamento multifractal e quais as possíveis origens da multifractalidade de tal criptomoeda.

Para atingir tais objetivos, esta pesquisa foi dividida nas seguintes seções: A seção 2 apresenta a estatística descritiva dos dados analisados, seguido da seção 3 que descreve o método MFDFA, um dos métodos mais utilizados para analisar a multifractalidade de séries temporais financeiras e, para finalizar, as seções 4 e 5 demonstram os resultados e conclusão sobre o comportamento da série de preços do Bitcoin.

2. Dados

Este estudo utilizou dados cotados de 12 em 12 horas no período de 14 de setembro de 2011 a 20 de novembro de 2017, perfazendo 4415 observações.

A Fig.1 demonstra o comportamento dos preços e dos retornos do Bitcoin.

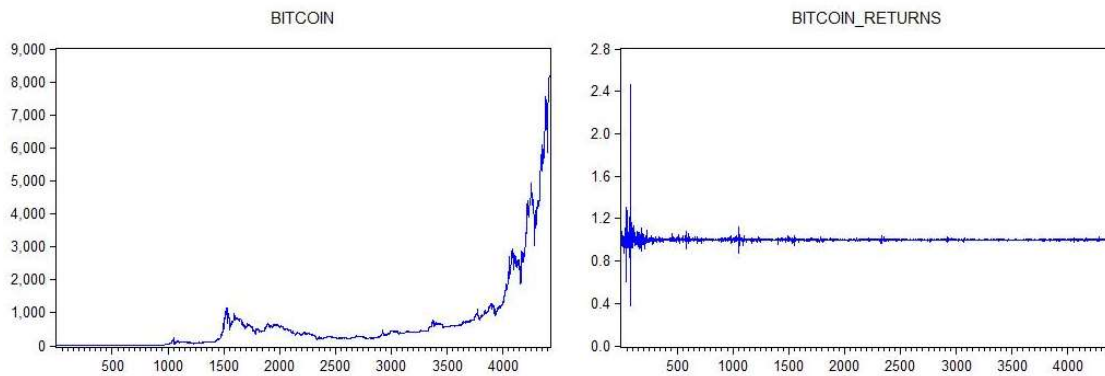


Fig. 1. Comportamento dos preços e dos retornos da série do Bitcoin

A tabela abaixo apresenta a análise descritiva dos dados analisados:

Table 1. Análise descritiva das séries de retornos do Bitcoin

	<i>Média</i>	<i>Median</i>	<i>Máxim</i>	<i>Mínim</i>	<i>Des.</i>	<i>Assimetri</i>	<i>Curtos</i>	<i>Observaõe</i>
		<i>a</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>Pad.</i>	<i>a</i>	<i>e</i>	<i>s</i>
<i>Bitcoi</i>	1.00072	1.00023	2.4650	-0.3736	0.02909	26.67641	1520.6	4415
<i>n</i>	4	1			0		4	

Observamos que, no período analisado, a variação máxima do preço do Bitcoin com periodicidade de 12 horas foi de 246.5% e a variação mínima foi de -37.36%. Havendo uma assimetria de -26.68 e uma curtose de 1520.64, percebemos que a distribuição não segue uma distribuição normal. Quando a assimetria é caracterizada por um deslocamento para a direita, pode-se afirmar que essa caracterização se dá por retornos positivos, o que ocorre nesse caso.

Para dar continuidade ao que foi proposto para esta pesquisa, selecionamos o método MFDFA, idealizado por [32], para analisar a multifractalidade da série do Bitcoin. Este método é descrito a seguir.

3. Método

A técnica do MFDFA pode ser descrita através da generalização do método DFA, e a equação 1 é chamada de função flutuação média generalizada, para momentos de ordem q , e é dada pela equação a seguir:

$$F_q(s) = \left(\frac{1}{N} \sum_{v=1}^N [F^2(s, v)]^{\frac{q}{2}} \right)^{\frac{1}{q}} \quad (1)$$

Em que a variável q (com sentido equivalente aos momentos de ordem q da estatística) pode assumir qualquer valor real, exceto zero. O valor de $F_q(s)$ não pode ser determinado diretamente quando $q = 0$, por causa do expoente divergente da equação 1. Este problema é resolvido ao utilizar a equação 2:

$$F_o(s) = \exp \left(\frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \ln[F(s, v)] \right) \quad (2)$$

É importante observar que o interesse está em determinar o quanto a função de flutuação média generalizada $F_q(s)$ depende da escala temporal s , para diferentes valores de q . Assim como observado na equação 1, $F_q(s)$ deve seguir uma lei de potência:

$$F_q(s) \sim s^{H(q)} \quad (3)$$

Para séries temporais estacionárias, $H(2)$ é idêntico ao expoente de Hurst (H). Então, $H(q)$ é chamado de Hurst generalizado. O expoente de Hurst generalizado $H(q)$, definido na equação 4, relaciona-se com o expoente de escala $t(q)$, definido pela função de partição, no formalismo multifractal. Esta relação é computada por:

$$t(q) = qH(q) - 1 \quad (4)$$

É possível, ainda, relacionar $H(q)$ com a dimensão multifractal generalizada $D(q)$:

$$D(q) \equiv \frac{t(q)}{q-1} = \frac{qH(q) - 1}{q-1} \quad (5)$$

No próximo tópico será apresentada a análise da multifractalidade para a série analisada.

4. Resultados

A fig. 2 corresponde ao log da função de flutuação de q , no caso F_q , versus os vários valores de q , que são descritas nas equações de 4 a 6. As curvas superiores e inferiores correspondem aos casos extremos, que são os valores de $q = 10$ e $q = -10$ respectivamente.

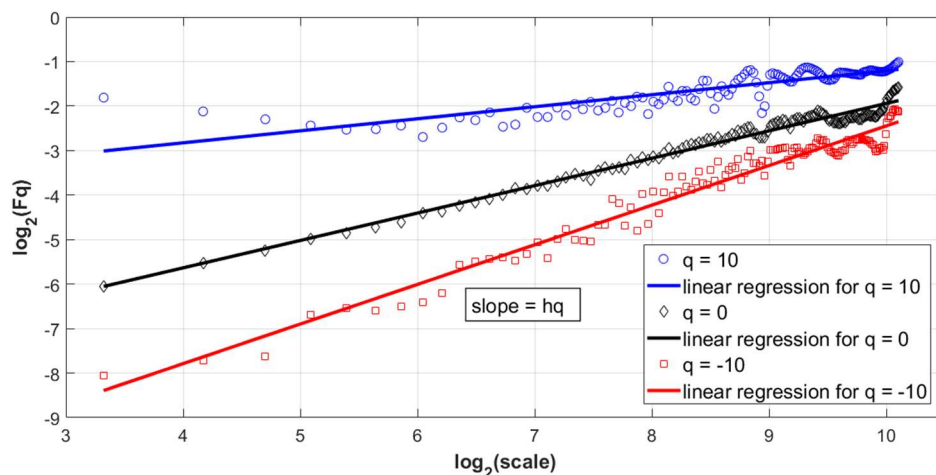


Fig. 2. Log-log de F_q versus escala dos retornos da série do Bitcoin

A Fig. 3 mostra os expoentes de Hurst generalizados h_q para diferentes valores de q variando entre -10 e 10. Ao descrever uma série monofractal, os valores de h_q são constantes. É observado que os valores dos expoentes de Hurst generalizados são decrescentes, indicando um comportamento multifractal das séries, identificando que não é possível modelos fractais para a análise dessa série temporal financeira.

É importante salientar que quando $q = 2$, o expoente de Hurst generalizado h_q obtido através do método MFDFA, é idêntico ao expoente de Hurst obtido pelo método DFA, como os $h(2)$, apresentados são

próximos de 0,5, concluímos que os retornos das séries analisadas apresentam um certo grau de persistência.

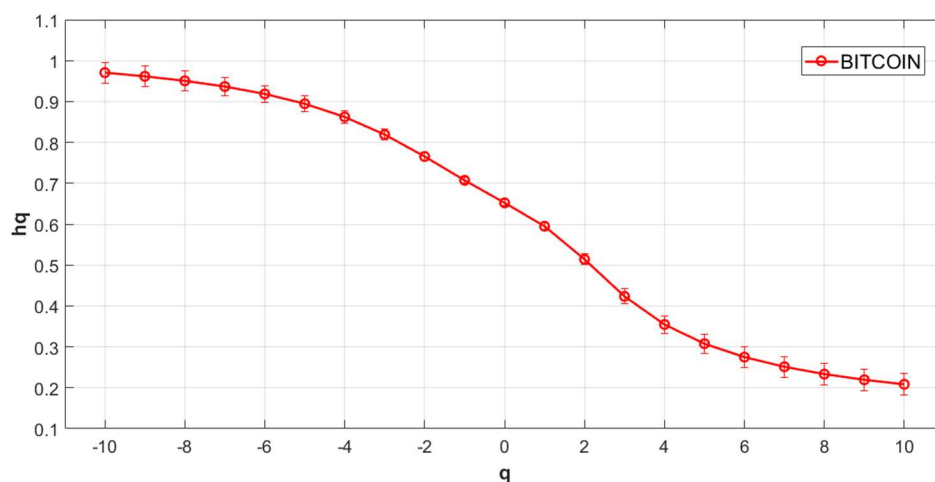


Fig. 3. Expoentes de Hurst Generalizados $h(q)$ para a série do Bitcoin

A Fig. 4 apresenta o espectro multifractal da série estudada, com as respectivas barras de erro. Este gráfico identifica o parâmetro máximo $h(q)$ e o parâmetro mínimo $h(q)$ da amostra. A largura (diferença entre os parâmetros máximo e mínimo) é um dos indicadores do comportamento multifractal dos dados.

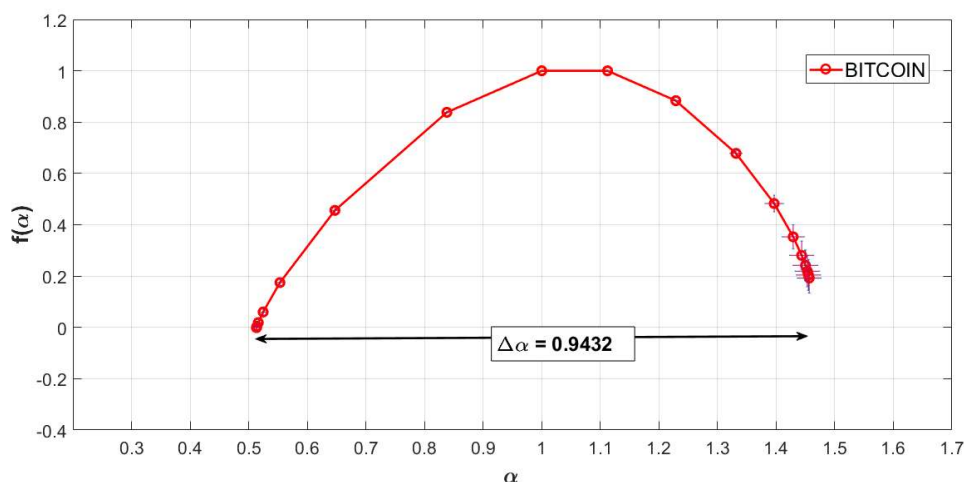


Fig. 4. Espectro Multifractal para a série do Bitcoin

Fig. 5 apresenta os expoentes de escala, também chamados de expoentes de massa de ordem q , eles são obtidos através da equação 7. Se $h(q)$ fosse constante (ou seja, não multifractal), deveria resultar em uma linha reta. Pode-se visualizar que este não é o caso, o que fornece uma indicação adicional das características multifractais desta série.

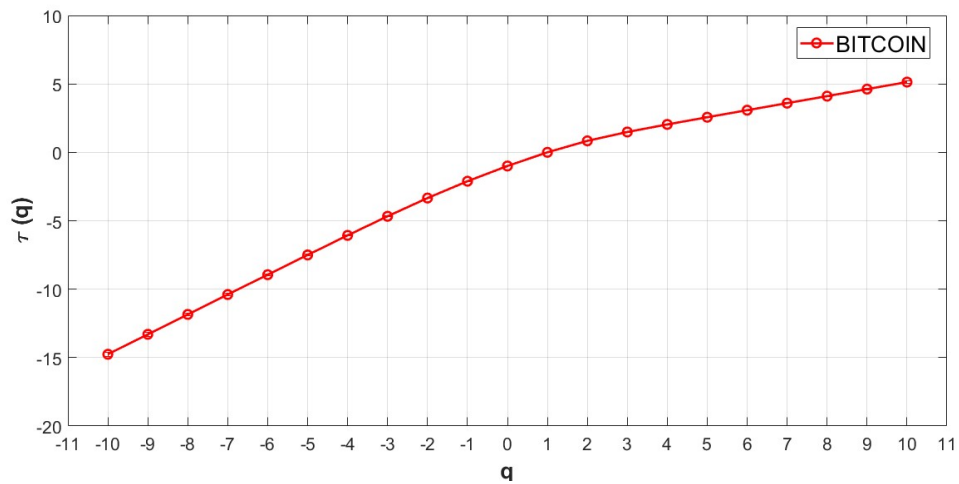


Fig. 5. Expoentes de Massa para a série do Bitcoin

Fig. 6 exibe como os expoentes de singularidade α variam com o q . Percebe-se uma forte variação nos valores de q , indicando um padrão multifractal para a série analisada.

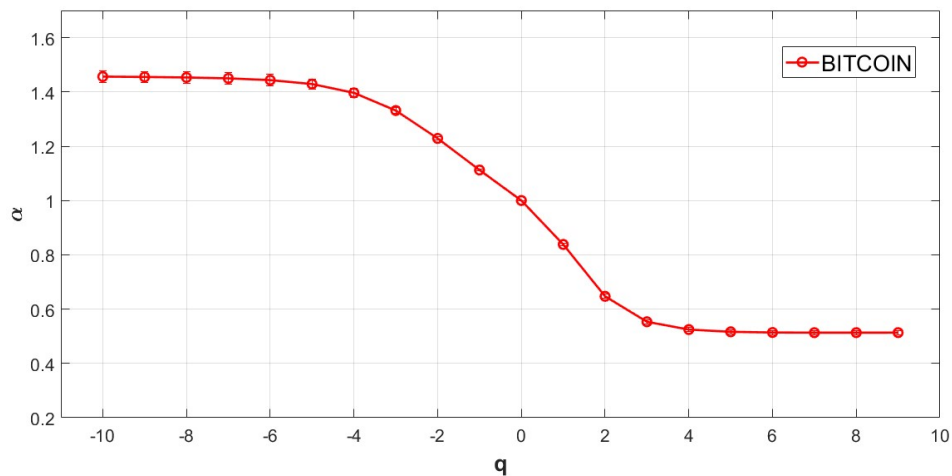


Fig. 6. Expoentes de singularidade α versus q

Fig. 7 mostra a dimensão de singularidade $f(\alpha)$ versus q . Deve-se observar que os valores de $f(\alpha)$ convergem para $f(0) = 1$ e diminuem à medida que os valores de q se afastam de zero. Para um h monofractal, os valores de q devem ser constantes. Essa é outra evidência do comportamento multifractal da série aqui analisada.

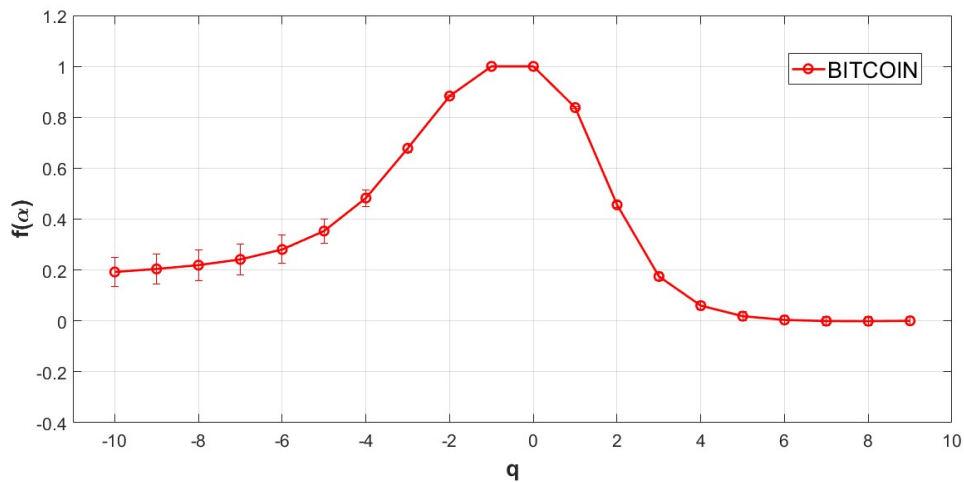


Fig. 7. Dimensão de singularidade $f(\alpha)$ versus q

4.1 As origens da Multifractalidade da série do Bitcoin

De acordo com a literatura estudada, existem dois fatores que contribuem para as propriedades multifractais de uma série temporal: a correlação temporal e as distribuições de probabilidade, ou seja, as caudas gordas.

Para identificar as fontes de multifractalidade dos retornos da série do Bitcoin, calculamos os expoentes de Hurst generalizados para as séries de retornos originais, shuffled e surrogates (ver figura 8). Observa-se que o procedimento de embaralhar a série destrói quaisquer correlações temporais, preservando a distribuição de flutuação e o procedimento de randomização de fase enfraquece a distribuição não gaussiana da série temporal. Portanto, esta observação nos permite visualizar as possíveis fontes de multifractalidade para a série temporal analisada.

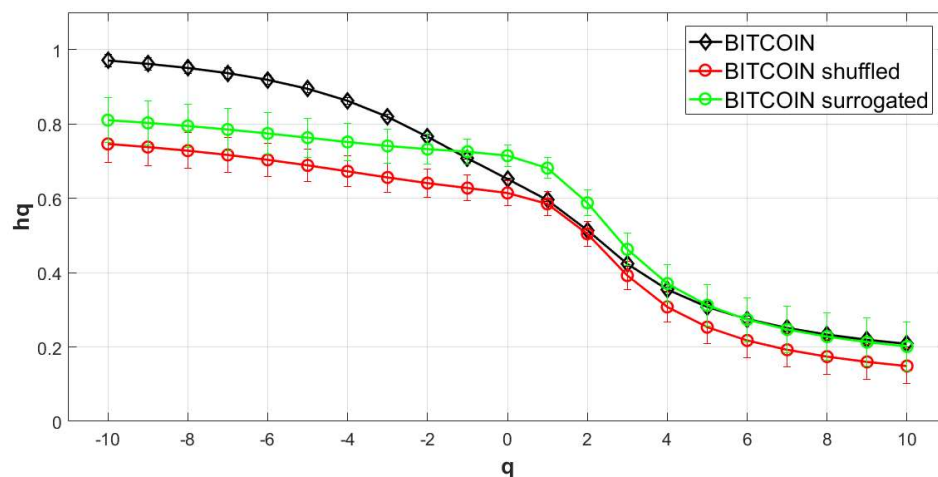


Fig. 8. Expoentes de Hurst Generalizados $h(q)$ para as diferentes séries temporais do Bitcoin: original (preto), shuffled (vermelha) e surrogated (verde).

A tabela 3 e a Fig. 9 exibem o grau de multifractalidade para os retornos do Bitcoin. Como podemos observar há uma redução dos valores de $\Delta\alpha$, tanto para séries shuffled quanto para séries surrogated. Esses resultados indicam que ambas as causas, correlações de longo alcance e distribuições das caudas gordas, contribuem para o comportamento multifractal do Bitcoin.

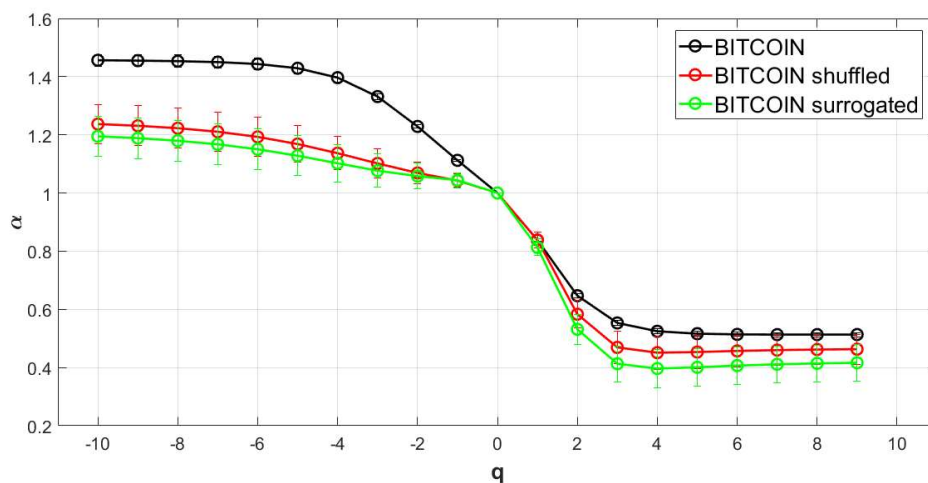


Fig. 9. Expoentes de singularidade α versus q para as diferentes séries temporais: original (preto), shuffled (vermelho) e surrogated (verde).

Table 2. Grau de multifractalidade da série do Bitcoin

	$\Delta\alpha$	std
Original data	0.9432	0.0203
Shuffled data	0.7928	0.0863
Surrogated data	0.8001	0.0982

5. Conclusão

Analisar e compreender o comportamento dos ativos do mercado financeiro é de suma importância para a área financeira, uma vez que ajuda seus usuários a tomar decisões mais bem embasadas. Mesmo que o Bitcoin ainda não seja regulado ou garantido por bancos centrais ou comissões de valores mobiliários, a dinâmica de valor e uso dessa criptomoeda se dá pela existência de um mercado e por sua evolução técnica, sendo o comportamento da evolução de seus preços, muito parecidos aos ativos encontrados no mercado financeiro, como por exemplo: ações, taxa de câmbio e preço do ouro.

Este trabalho analisou o comportamento da série do Bitcoin cotada de 12 em 12 horas, pelo método MFDFA (Multifractal Detrended Fluctuation Analysis) e ficou evidente que esta série de preços possui comportamento multifractal. Além disso, observamos que a origem da multifractalidade se dá tanto pela correlação de longo alcance como pelas caudas gordas.

Como sugestões para pesquisas futuras indicamos a análise do comportamento multifractal da série do Bitcoin com outras criptomoedas e também com outros ativos financeiros como, por exemplo: commodities, ações, taxa de câmbio, presentes tanto em mercados desenvolvidos como em mercados subdesenvolvidos.

6. Referências

- [1] GLASER, Florian et al. Bitcoin-asset or currency? revealing users' hidden intentions. ECIS 2014 Tel Aviv. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2425247>
- [2] R. N. Mantegna R. N, H. E. Stanley. Turbulence and financial markets. Nature 383 (1996) 587-588.
- [3] A. Turiel, C. J. Pérez-Vicente. Multifractal geometry in stock Market time series. Physica A 322 (2003) 629-649.
- [4] A. Turiel, C. J. Pérez-Vicente. Role of multifractal sources in the analysis of stock Market time series. Physica A 355 (2005) 475-496.

- [5] D. O. Cajueiro, P. Gogas, B. M. Tabak. Does financial market liberalization increase the degree of market efficiency? The case of the Athens stock exchange. *International Review of Financial Analysis* 18 (2009) 50-57.
- [6] D. Grech. Alternative measure of multifractal content and its application in finance. *Chaos, Solutions and Fractals* 88 (2016) 183-195.
- [7] J. Kwapień, P. Oświęcimka, S. Drożdż. Components of multifractality in high-frequency stock returns. *Physica A* 350 (2005) 466-474.
- [8] P. Norouzzadeh, G. R. Jafari. Application of multifractal measures to Tehran price index. *Physica A* 356 (2005) 609-627.
- [9] P. Oświęcimka, J. Kwapień, S. Drożdż. Multifractality in the stock market: price increments versus waiting times. *Physica A* 347 (2005) 626-638.
- [10] S. Benbachir, M. E. Alaoui. A multifractal detrended fluctuation analysis of the Moroccan stock exchange. *International Research Journal of Finance and Economics* 78 (2011) 6-15.
- [11] S. Dutta. Multifractal detrended fluctuation analysis of SENSEX fluctuation in the Indian Stock Market. *Canadian Journal of Physics* 88 (2010) 545-551.
- [12] S. Dutta, D. Ghosh, S. Chatterjee. Multifractal detrended cross correlation analysis of foreign exchange and SENSEX fluctuation in Indian perspective. *Physica A* 463 (2016) 188-201.
- [13] Y. Wang, L. Liu, R. Gu. Analysis of efficiency for Shenzhen stock market based on multifractal detrended fluctuation analysis. *International Review of Financial Analysis* 18 (2009) 271-275.
- [14] X. Lu, J. Tian, Y. Zhou, Z. Li. Multifractal detrended fluctuation analysis of the Chinese stock index futures Market. *Physica A* 392 (2013) 1452-1458.
- [15] L. Zunino, A. Figliola, B. M. Tabak, D. G. Pérez, M. Garavaglia, O. A. Rosso. Multifractal structure in Latin-American market indices. *Chaos, Solitons and Fractals* 41 (2009) 2331-2340.
- [16] E. Abounoori; M. Shahrazi; S. Rasekhi. An investigation of Forex market efficiency based on detrended fluctuation analysis: A case study for Iran. *Physica A* 391 (2012) 3170-3179.
- [17] F. Schmitt, D. Schertzer, S. Lovejoy. Multifractal analysis of foreign exchange data. *Applied Stochastic Models and Data Analysis* 15 (1999) 29-53.
- [18] I. Stosic, J. R. S. Silva, T. Stosic. Multifractal analysis of pegged and floating Dollar-Real Exchange rates. *CMAC, Anais do Congresso de Matemática Aplicada e Computacional*, (2012).
- [19] M. Ausloos. Statistical physics in foreign exchange currency and stock markets. *Physica A* 285 (2000) 48-65.
- [20] N. Vandewalle, M. Ausloos. Sparseness and roughness of foreign exchange rates. *International Journal of Modern Physics C* 9 (1998) 711-719.
- [21] P. Norouzzadeh, B. Rahmani. A multifractal detrended fluctuation description of Iranian rial – US dollar exchange rate. *Physica A* 367 (2006) 328-336.
- [22] S. V. Muniandy, S. C. Lim, R. Murugan. Inhomogeneous scaling behaviors in Malaysian foreign currency exchange rates. *Physica A* 301 (2001) 407-428.
- [23] S. R. S. Souza, B. M. Tabak, D. O. Cajueiro. Long-range Dependence in Exchange Rates: the case of the European Monetary System. *International Journal of Theoretical and Applied Finance* 11 (2008) 199-223.

- [24] T. Lux, L. Morales-Arias, C. Sattarhoff. Forecasting Daily Variations of Stock Index Returns with a Multifractal Model of Realized Volatility. *Journal of Forecasting* 33(2014) 532-541.
- [25] Z. Xu, R. Gençay. Scaling, self-similarity and multifractality in FX markets. *Physica A* 323 (2003) 578-590.
- [26] Y. Wang, C. Wu, Z. Pan. Multifractal detrending moving average analysis on the US Dollar exchange rates. *Physica A* 390 (2011) 3512-3523.
- [27] D. Ghosh, S. Dutta, S. Samanta. Fluctuation of gold price: a multifractal approach. *Acta Physica Polonica B* 43 (2012) 1261-1274.
- [28] G. Oh, C. Eom, S. Havlin, W. S. Jung, F. Wang, H. E. Stanley, S. Kim. A multifractal analysis of Asian foreign exchange markets. *The European Physical Journal B* 85 (2012) 214-219.
- [29] K. Ivanova, M. Ausloos. Low q-moment multifractal analysis of Gold Price, Dow Jones Industrial and BGL-USD exchange rate. *The European Physical Journal B* 8 (1999) 665-669.
- [30] M. Bolgorian, Z. Gharli. A multifractal detrended fluctuation analysis of gold price fluctuations. *Acta Physica Polonica B* 42 (2011) 159-169.
- [31] K. Matia, Y. Ashkenazy, H. E. Stanley. Multifractal properties of price fluctuations of stocks and commodities. *Europhysics Letters* 61 (2003) 422-428.
- [32] J. W. Kantelhard, S. A. Zschiegner, E. Koscielny-Bunde, S. Havlin, A. Bunde, H. E. Stanley. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. *Physica A* 316 (2002) 1-18.
- [33] P. Franco. *Understanding Bitcoin: Cryptography, engineering and economics*. John Wiley & Sons (2014) 288p.
- [34] S. Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system (2008) <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (accessed:07.18.17)
- [35] D. Yermack. Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. National Bureau of Economic Research, 2013.
- [36] R. Böhme, N. Christin, B. Edelman, T. Moore. Bitcoin: Economics, technology, and governance. *The Journal of Economic Perspectives*, v. 29, n. 2, p. 213-238, 2015.
- [37] A. H. Dyhrberg. Bitcoin, gold and the dollar - A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*, v. 16, p. 85-92, 2016.