

Análise do Impacto do Halving do Bitcoin: Uma Abordagem de Similaridade de Cosseno em Séries Temporais Financeiras

Nome: Gabriel Gomes Ribeiro da Silva
Professor: Alexandre Garcia de Oliveira

Faculdade de Tecnologia da Baixada Santista – Fatec Rubens Lara
Curso Ciência de Dados, desenvolvido através da disciplina de Álgebra Linear.

Sumário

1- Resumo.....	pág. 1
2- Introdução.....	pág. 1
3- Objetivo.....	pág. 1
4- Contextualização.....	pág. 2
5- Desenvolvimento.....	pág. 2
6- Conclusão.....	pág. 3
7- Referências.....	pág. 4

1. Resumo

Este relatório analisa o impacto dos eventos de halving do Bitcoin sobre a dinâmica de preços, usando a similaridade de cosseno entre séries temporais de preços de fechamento diário. Com base em dados históricos (2012–2025), comparamos padrões de 30, 90 e 180 dias imediatamente anteriores e posteriores a cada halving (nov/2012, jul/2016, mai/2020, abr/2024). Empregado código em Python (bibliotecas Pandas e NumPy) para extrair vetores diários de fechamento e calcular a similaridade cosseno entre os períodos pré e pós-halving. Os resultados mostram valores elevados (próximos de 1) na maioria das janelas, indicando que o perfil de preço manteve direção similar após o halving. A maior exceção foi o halving de 2012 em janela de 180 dias (sim $\approx 0,84$), refletindo o grande aumento de preços naquele ciclo. Conclui-se que a similaridade cosseno alta sugere que, em geral, a tendência de alta continuou após os eventos de halving recentes, ao passo que valores menores (2012) refletem mudanças de regime mais marcantes.

2. Introdução

O *halving* do Bitcoin é um evento programado que ocorre aproximadamente a cada quatro anos, em que a recompensa por bloco minerado é reduzida pela metade. Isso implica que a quantidade de novos bitcoins lançados no mercado cai bruscamente, aumentando a escassez da criptomoeda. Na teoria, essa limitação de oferta tende a elevar o preço se a demanda permanecer constante. Historicamente, após cada um dos três primeiros halvings, o preço do Bitcoin apresentou forte valorização: por exemplo, passou de cerca de US\$12 em nov/2012 para >US\$1.000 em nov/2013, e ciclos similares ocorreram após 2016 e 2020. Entretanto, estudos recentes indicam que o efeito de halving no preço pode ser mais complexo; por exemplo, Lashkaripour (2024) reportou que os halvings “slightly depress prices” (reduzem levemente o preço) enquanto aumentam taxas de transação e diminuem volatilidade. Diante desse cenário, este trabalho investiga quantitativamente o comportamento dos preços em torno dos eventos de halving, usando métricas de similaridade de séries temporais baseadas em conceitos de álgebra linear (produto escalar e normas vetoriais).

A similaridade de cosseno é um método de álgebra linear que mede o quanto dois vetores apontam na mesma direção, independentemente de sua magnitude. Para dois vetores v e w não nulos, a similaridade cosseno é dada por:

$$\cos(\theta) = \frac{v \cdot w}{\|v\| \|w\|}$$

onde $v \cdot w$ é o produto escalar e $\|v\|$ e $\|w\|$ são as normas dos vetores. Esse valor varia de -1 a 1 , mas como lidamos com preços positivos, fica no intervalo $[0,1]$, em que 1 indica vetores paralelos (mesmo sentido). A similaridade cosseno é especialmente útil para comparar padrões gerais de tendência em janelas de dados de mesmo comprimento. Portanto, neste estudo representamos cada período (por exemplo, 30 dias antes de um halving) como um vetor de preços e comparamos seu ângulo vetorial com o vetor do período correspondente após o halving.

3. Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar o impacto dos eventos de halving do Bitcoin sobre a dinâmica dos preços utilizando análise de similaridade cosseno em séries temporais financeiras. Em particular, buscamos:

- Extrair vetores de preços de fechamento diário do Bitcoin para janelas de 30, 90 e 180 dias antes e depois de cada halving conhecido (2012, 2016, 2020, 2024).
- Calcular a similaridade cosseno entre os vetores de preços pré e pós-halving para cada janela, medindo o grau de semelhança no comportamento dos preços.
- Interpretar os valores de similaridade obtidos para entender se e como o padrão de preços muda após os eventos de halving.
- Documentar as decisões metodológicas (uso de preços de fechamento, seleção de janelas, algoritmo em Python) e os resultados obtidos.

4. Contextualização

O halving do Bitcoin integra o modelo econômico da moeda, garantindo que a emissão siga uma taxa decrescente até atingir 21 milhões de unidades. Segundo Investopedia, cada halving “ocorre a cada quatro anos e reduz pela metade a recompensa por bloco”, o que “reduz a taxa na qual novas moedas são criadas e, assim, diminui a oferta disponível”. Tal mecanismo é uma forma de controle inflacionário, comparável a uma política monetária estritamente deflacionária. Apesar disso, a literatura mostra efeitos contraditórios: muitos analistas associam o halving a fortes altas de preço (motivadas pela oferta menor), enquanto trabalhos acadêmicos recentes observam impactos mais moderados ou até ligeiramente negativos sobre o preço médio. Além disso, os halvings costumam ser acompanhados de especulação crescente antes do evento, elevando volatilidade no curto prazo.

Para estudar esses efeitos, adotamos a similaridade de cosseno como métrica. Essa métrica linear é definida pelo cosseno do ângulo entre dois vetores no espaço, dado pelo produto escalar normalizado. Na prática, essa medida varia de -1 a +1, mas no contexto de séries financeiras (vetores de preços positivos) ela assume valores entre 0 (semelhante ortogonal) e 1 (vetores paralelos). A grande vantagem do cosseno é que ele destaca a *forma* ou *direção* dos padrões de variação de preço, ignorando diferenças de escala. Conforme destacado por fontes técnicas, a similaridade cosseno “compara a similaridade entre dois vetores usando o ângulo entre eles e ignora a magnitude”, sendo particularmente apropriada para janelas de comprimento igual (como as janelas de 30, 90 e 180 dias consideradas). Assim, dois períodos de preço terão alta similaridade cosseno se ambos apresentam tendências de alta ou baixa semelhantes, mesmo que os valores absolutos sejam diferentes.

5. Desenvolvimento

A análise foi realizada em Python, estruturada nos seguintes passos metodológicos:

- Pré-processamento dos dados: Foi utilizado um conjunto de dados disponível em formato CSV contendo preços do Bitcoin em intervalos de um minuto desde 2012. Esse arquivo (btc_usd_1min_data.csv) foi carregado em Python com pandas. Como foco estão as séries de preços diários, agreguei os dados para extrair o preço de fechamento do último minuto de cada dia. Optei pelo fechamento diário por ser um ponto de referência estável para comparar períodos completos.
- Definição das janelas temporais: Identificaram-se as datas dos eventos de halving (28/nov/2012, 9/jul/2016, 11/mai/2020 e 20/abr/2024). Para cada evento, construiu-se vetores de preços contendo X dias imediatamente antes (pre-halving) e após (post-halving) o evento, excluindo o próprio dia do halving para evitar sobreposição. Foi considerado X=30,90,180 dias para capturar horizontes de curto, médio e longo prazo em torno do evento. Essa escolha permite verificar se a consistência ou mudança de tendência é sensível ao tamanho da janela.
- Construção dos vetores: Para cada halving e cada valor de X, extraímos duas sequências de preços diários: uma contendo os X dias imediatamente anteriores ao halving, outra contendo os X dias logo após. Ambos os vetores têm mesmo comprimento X, permitindo comparação direta. Por exemplo, para o halving de abril de 2024 e X=30, o vetor pré-halving vai de 21/mar/2024 a 19/abr/2024 (inclusive), e o pós-halving de 20/abr/2024 a 19/mai/2024.
- Cálculo da similaridade cosseno: Aplicada a fórmula da similaridade cosseno entre cada par de vetores pré e pós. Formalmente, dado um vetor de preços $v=(v_1,\dots,v_n)$ antes do halving e outro $w=(w_1,\dots,w_n)$ depois, calculou

$$\cos(v, w) = \frac{\sum_{i=1}^n v_i w_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2}}.$$

Em Python, usando a função de produto escalar e normas do NumPy para computar esse valor. Esse procedimento ignora a escala absoluta dos preços e destaca se as direções de movimento geral nos dois períodos são parecidas. Conforme fontes aplicadas, a similaridade cosseno “funciona bem com janelas de mesmo tamanho” e destaca o alinhamento direcional das tendências.

- Implementação no Python: O código carregou o CSV, converteu timestamps para datas, resampleou para preços diários de fechamento, e iterou sobre cada halving. Uso de `pandas.resample('D').last()` para obter o último preço de cada dia. Em seguida, definimos as janelas pré e pós para cada intervalo (30, 90, 180 dias) e foi calculada a similaridade usando `numpy.dot` e `numpy.linalg.norm`. Todas as janelas geraram vetores de mesmo comprimento sem dados faltantes, permitindo comparação direta. Esta abordagem segue práticas comuns de análise de séries financeiras com vetores numéricos.

Após a execução, obteve-se os valores de similaridade cosseno listados na Tabela abaixo:

Halving	Janela (dias)	Similaridade Cosseno
2012	30	0,9986
2012	90	0,9474
2012	180	0,8379
2016	30	0,9959
2016	90	0,9783
2016	180	0,9929
2020	30	0,9937
2020	90	0,9854
2020	180	0,9877
2024	30	0,9969
2024	90	0,9810
2024	180	0,9625

Tabela: Similaridade de cosseno entre vetores de preços pré e pós-halving do Bitcoin.

Observa-se que todos os valores estão muito próximos de 1, especialmente em janelas curtas (30 dias). Isso indica que, em geral, os padrões de variação nos períodos de 1 mês antes e depois de cada halving foram quase paralelos em termos de direção geral. Para janelas mais longas (180 dias), a similaridade ainda é alta ($\geq 0,96$) em 2016–2024, mas menor em 2012 ($\approx 0,84$). Essa análise quantitativa sugere que após os halvings de 2016, 2020 e 2024, a tendência de alta dos preços persistiu de forma coerente, enquanto no primeiro halving de 2012 ocorreu uma mudança de padrão relativamente maior.

6. Conclusão

Os resultados da análise de similaridade cosseno indicam que, nos eventos recentes de halving do Bitcoin, o comportamento dos preços antes e depois foi muito semelhante em termos de trajetória direcional. Valores de similaridade próximos a 1 significam que os vetores de preços pré- e pós-halving foram quase colineares, ou seja, as tendências de alta ou baixa continuaram na mesma direção. Por exemplo, para janelas de 30 dias, todas as similaridades ficaram acima de 0,99, o que sugere que no curto prazo a dinâmica de alta (ou estabilidade) dos preços continuou com pouco desvio. Já as janelas de 180 dias mostraram similaridades ligeiramente menores em 2024 (0,9625) e notavelmente menor em 2012 (0,8379), revelando que naquele primeiro ciclo o preço do Bitcoin seguiu um padrão pós-halving mais distinto (composto pela forte alta subsequente até 2013).

Em suma, a análise linear-geométrica corroborou a ideia de que os eventos de halving não geraram uma ruptura imediata no padrão de preços: a direção geral das variações manteve-se estável nos períodos considerados. Em particular, as similaridades muito altas nos ciclos de 2016 em diante sugerem que o mercado continuou evoluindo numa trajetória comparável antes e depois do halving. Já o menor valor de

2012 reflete o caráter excepcional daquela alta inicial do Bitcoin. Esses resultados, unidos às referências literárias, apontam que a similaridade cosseno é uma ferramenta útil para quantificar mudanças de padrão em séries financeiras. Assim, concluído que, sob o viés do produto escalar vetorial, o halving tem mantido a continuidade da tendência de alta no curto prazo, ainda que seu efeito de longo prazo sobre preço possa depender de outros fatores macroeconômicos e de demanda. A interpretação final é que valores de similaridade próximos de 1 indicam perfis de preço muito similares e continuidade de tendência, enquanto valores menores (como em 2012/180d) sinalizam maior mudança de padrão pós-halving.

7. Referências

CHAINALYSIS. *What you need to know about the Bitcoin Halving*. Chainalysis Blog, 09 abr. 2024. Disponível em: <https://www.chainalysis.com/blog/bitcoin-halving-2024>. Acesso em: 16 maio 2025.

EXEQUITION ANALYTICS. *Time Series Similarity Search*. [S.l.], 2024. Whitepaper técnico.

INVESTOPEDIA. *Bitcoin Halving: What It Is and Why It Matters for Crypto Investors*. Atualizado em: 08 ago. 2024. Disponível em: <https://www.investopedia.com/bitcoin-halving-4843769>. Acesso em: 16 maio 2025.

LASHKARIPOUR, M. *Some Stylized Facts About Bitcoin Halving*. SSRN, abr. 2024. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4770520>. Acesso em: 16 maio 2025.

WIKIPEDIA. *Cosine similarity*. Wikipédia, The Free Encyclopedia. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosine_similarity. Acesso em: 16 maio 2025.