

# Análise do impacto do Bitcoin na eficiência de uma carteira diversificada para investidores brasileiros

Davi Trindade Batista<sup>1</sup>   
Carlos F. Alves<sup>2</sup> 

## Resumo

**Objetivo** – O objetivo deste estudo é investigar se a inclusão do Bitcoin entre os ativos elegíveis para investidores de varejo no mercado brasileiro teria impacto na fronteira eficiente e, por conseguinte, nas escolhas ótimas dos investidores.

**Metodologia** – Foram calculadas as fronteiras eficientes com e sem a inclusão do Bitcoin e realizadas simulações para estimar as carteiras ótimas segundo diferentes critérios e intervalos temporais. O período da amostra vai de 01/07/2013 até 30/06/2018 e foram utilizados os valores diários de fechamento dos ativos/índices selecionados.

**Resultados** – Este estudo encontra evidência de que a inclusão do Bitcoin entre as alternativas de investimento provocaria um deslocamento positivo, estatisticamente significativo, e uma expansão da fronteira eficiente no mercado brasileiro de varejo. Isso resultaria em um aumento expressivo do retorno da carteira de tangência. Além de melhorar os indicadores de otimização do binômio risco-retorno, o criptoativo seria incluído em carteiras ótimas em parte significativa do período 2013T3-2018T2.

**Contribuições** – Os resultados obtidos evidenciam que, tal como reportado para mercados mais desenvolvidos, o Bitcoin provocou uma expansão da fronteira eficiente do mercado brasileiro de varejo.

**Palavras-chave** – Bitcoin; moeda digital; seleção de portfólios; alocação de ativos; mercado de capitais brasileiro.

- 
1. Comissão de Valores Mobiliários, Superintendência de Proteção e Orientação aos Investidores, São Paulo, Brasil
  2. Universidade do Porto e CEFUP, Faculdade de Economia, Porto, Portugal
- 

## Como citar:

Batista, D., Alves, C., (2021). Análise do impacto do Bitcoin na eficiência de uma carteira diversificada para investidores brasileiros. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, 23(2), primeirapágina-últimapágina.

---

## Recebimento:

12/08/2019

## Aprovação:

01/10/2020

## Editor responsável:

Prof. Dr. Joelson Sampaio

## Processo de avaliação:

Double Blind Review

## Revisores:

Vinicius Brunassi. Um dos revisores decidiu não divulgar sua identidade.



**Revista Brasileira de Gestão de Negócios**

<https://doi.org/10.7819/rbgn.v23i2.4098>

## I Introdução

Na última década, o Bitcoin foi certamente o (novo) ativo que mais atraiu a atenção dos meios de comunicação social e de parte da comunidade científica, e recentemente esse interesse chegou ao público não especializado. Porém, apesar de já existir alguma investigação, muitos questionamentos acerca do criptoativo ainda precisam ser respondidos. Entre eles a questão sobre se o Bitcoin seria capaz de aumentar a eficiência de uma carteira diversificada nos mercados financeiros locais e global. Por isso, o presente artigo procura responder à seguinte questão: *o investimento em Bitcoin é capaz de aumentar a eficiência de uma carteira diversificada de investidores de varejo no mercado brasileiro?*

Embora existam estudos sobre o impacto do Bitcoin na eficiência da carteira de investidores em alguns dos principais mercados internacionais (vejam-se, por exemplo, para os Estados Unidos Brière, Oosterlinck, & Szafarz, 2015; Wu & Pandey, 2014) e existam estudos sobre o impacto da inclusão de ativos e índices específicos na carteira de investidores do mercado brasileiro (Caldeira, Moura, Santos, & Tessari, 2014; Cunha & Samanez, 2014; Lopes & Furtado, 2006; Oliveira & Silva, 2009; Silveira & Barros, 2010), desconhece-se a existência de estudos que abordem a potencial influência do Bitcoin em uma carteira diversificada de ativos ao alcance dos investidores brasileiros, pelo que constitui uma contribuição para a literatura de finanças.

Os resultados do estudo são potencialmente interessantes por conta da diferença estrutural do mercado brasileiro face ao de países mais desenvolvidos, com destaque para os Estados Unidos. Enquanto estes são mercados de capitais profundos, com investidores sofisticados e têm convivido com taxas de juros baixas, o Brasil ainda convive com taxas de juros reais e nominais altas e dispõe de um mercado de capitais pouco desenvolvido. Outra grande diferença entre o Brasil e a maioria dos países desenvolvidos diz respeito à liberdade econômica: o Brasil ocupa a posição 153 de um ranking com 180 países, tendo sido enquadrado na categoria “majoritariamente sem liberdade econômica” (*Mostly unfree*) e com pontuação muito próxima à da pior categoria, que é de país “repressor da liberdade econômica” (*Repressed*) (Heritage Foundation, 2018). Além disso, de acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o nível de letramento financeiro no Brasil é baixo (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2015). Esta

pesquisa da OCDE indica que mesmo a nova geração do país terá dificuldades para entender os criptoativos como o Bitcoin.

Note-se, no entanto, que apesar de o presente estudo se centrar no Brasil, as suas conclusões são relevantes para outros países, dado que há evidência de que o Bitcoin é utilizado pelos investidores como uma alternativa de aplicação do seu patrimônio em múltiplos mercados pequenos e emergentes. É esse o caso de Chipre (Farrell, 2013), Grécia (Rosenfeld, 2015), Argentina (Popper, 2015), Índia (Kashyap, 2016), China (Wildau, 2017), Zimbábue (Urban, 2017), Venezuela (Voge, 2018) e Turquia (Cuen, 2018).

Note-se ainda que, mesmo para os mercados mais desenvolvidos, a literatura foca-se na fase inicial do Bitcoin (2010-2013) (Brière et al., 2015; Wu & Pandey, 2014), enquanto este artigo abarca o período seguinte, durante o qual o Bitcoin se consolidou e alcançou um público mais amplo, sendo por isso uma contribuição complementar aos estudos realizados fora do Brasil.

Este estudo é igualmente relevante ao nível da regulação e da supervisão do mercado de capitais, já que, embora o Bitcoin fuja da competência da Comissão de Valores Mobiliários (CVM) por não se tratar de um valor mobiliário, é atribuição desta autoridade adequar a regulação do mercado de capitais brasileiro de acordo com a sua evolução e disseminar a educação financeira à população, valendo destacar que já há mais de um milhão de investidores cadastrados nas bolsas de Bitcoin no Brasil, número superior ao dos investidores na bolsa de valores B3 (novo nome da BM&FBovespa) (Guimarães, 2018).

Este artigo apresenta evidência de que a adição de uma pequena parcela de Bitcoin à carteira diversificada de um investidor no mercado brasileiro teria aumentado sua eficiência no período 2013T3-2018T2. Assim, a presente investigação também é de interesse para as esferas da regulação e supervisão do mercado de capitais por conta do “efeito colateral” sobre o custo de capital. De fato, caso o Bitcoin se torne uma alternativa popular entre os investidores, é razoável supor que o custo de capital das empresas brasileiras crescerá, pois aumentará o custo de oportunidade para quem deixar de investir em Bitcoin para investir em valores mobiliários.

Desse modo, do ponto de vista teórico, já era esperado que o Bitcoin contribuísse positivamente para a diversificação da carteira caso sua correlação com os demais ativos e índices do mercado brasileiro fosse baixa, mas este estudo é relevante porque calcula e constata que,

de fato, aquela correlação é baixa. Além disso, o fato de o Bitcoin eventualmente possuir elevado risco idiossincrático poderia levar à minimização da sua presença em carteiras eficientes. Não havia certeza, portanto, de que o Bitcoin viesse a integrar com peso relevante as alternativas de investimento, nem que viesse a provocar um deslocamento positivo, estatisticamente significativo, e uma expansão da fronteira eficiente do mercado brasileiro de varejo.

O presente estudo vai além do cálculo e da constatação da baixa correlação e do alto risco idiossincrático, encontrando evidências e quantificando o aumento da eficiência das carteiras diversificadas que incluem o Bitcoin. Tal quantificação é realizada utilizando diversos critérios como a mensuração do deslocamento positivo com significância estatística da fronteira eficiente, a minimização do desvio padrão e a maximização dos Índices de Sharpe, Sortino e Ômega.

O artigo encontra-se estruturado como se segue. Na próxima seção apresenta-se o Bitcoin, em especial enquanto ativo de investimento, e procede-se à revisão da literatura no que respeita ao impacto do Bitcoin na eficiência de carteiras em várias regiões do mundo e ao impacto de ativos e índices específicos na eficiência da carteira do investidor brasileiro. Na seção 3 apresentam-se as metodologias e os dados utilizados na investigação, ao passo que a seção 4 sintetiza e analisa os resultados do estudo. Por fim, na última seção expõem-se as conclusões da investigação.

## 2 Caracterização do Bitcoin e Revisão da Literatura

### 2.1 O Bitcoin como Ativo de Investimento

Em 1 de Novembro de 2008, Nakamoto (2008) apresentou à comunidade de um fórum de discussões online seu artigo que tratava de uma forma eletrônica de dinheiro que permitiria a realização de pagamentos na internet sem a intermediação de uma instituição financeira. Ao eliminar os intermediários, o Bitcoin reduziria os custos das transações, tornando-as mais baratas. Para isso, propôs uma maneira de resolver o Problema do General Bizantino, uma questão da área de sistemas de computação distribuídos.

Na prática o autor possibilitou que fosse superado o problema do gasto duplo com base no registo público e descentralizado do momento em que a transação foi realizada. O problema do gasto duplo, que foi o responsável

pelo insucesso de várias moedas digitais surgidas até então, decorre de as versões precedentes de dinheiro virtual serem um arquivo de computador. Assim, a criação de cópias do arquivo (falsificação da moeda) ou o envio do mesmo arquivo para contrapartes diferentes consistia na grande questão a ser resolvida. E o Bitcoin conseguiu resolvê-la.

Em 3 de janeiro de 2009, Satoshi Nakamoto publicou a primeira versão do programa computacional relacionado ao que estava escrito em seu artigo. Surgiu o Bitcoin.

O Bitcoin permite transações irreversíveis, possui uma quantidade máxima de moedas digitais (21 milhões) e taxa de criação de novas moedas pré-estabelecida, além de um histórico público das transações. Qualquer um pode criar uma conta na rede Bitcoin sem ter de pagar taxas, submeter-se à análise e aprovação de alguma entidade centralizada ou mesmo informar a sua identidade. Em conjunto, essas regras resultam em um sistema que é visto como mais flexível e menos sujeito à supervisão regulatória do que outros métodos de pagamento – embora esses benefícios enfrentem importantes limitações ligadas à governança e aos riscos que diferem o Bitcoin de outros métodos de pagamento e de reserva de valor (Böhme, Christin, Edelman, & Moore, 2015).

Comparando o Bitcoin com outros ativos que poderiam proporcionar baixa correlação com os demais ativos de uma carteira, pode-se afirmar que, ao contrário dos outros ativos disponíveis, o Bitcoin permite que o próprio investidor realize a guarda e transporte de seu investimento. Essa afirmação também é parcialmente verdadeira para ativos como o Ouro, mas o Bitcoin é intangível, o que faz com que sua custódia e transporte sejam mais facilmente realizadas do que as do Ouro. O que o detentor de Bitcoin precisa guardar e transportar, na verdade, é uma senha alfanumérica (que, inclusive, pode ser memorizada), que lhe confere acesso ao seu patrimônio, da mesma forma que um usuário somente precisa memorizar sua senha do provedor de e-mails para dispor de suas mensagens.

Assim, sob a ótica do investidor de varejo do mercado brasileiro, que convive com um ambiente de baixa liberdade econômica e alto índice de corrupção percebida, a inovação trazida pelo Bitcoin pode ter um valor considerável. Basta lembrar que, há cerca de 30 anos, os brasileiros foram surpreendidos pelo bloqueio de parcela de seu dinheiro depositado em conta corrente e em caderneta de poupança, fato que ocorreu logo após a tomada de posse do presidente Fernando Collor de Mello.

Sob a ótica de cidadãos de outros países, o passado recente apresenta evidências de que o Bitcoin foi utilizado como uma alternativa de blindagem do patrimônio em situações de crise ou como uma maneira de viabilizar transações financeiras diante da deterioração da moeda soberana local, como nos já citados casos do Chipre (Farrell, 2013), Grécia (Rosenfeld, 2015), Argentina (Popper, 2015), Índia (Kashyap, 2016), China (Wildau, 2017), Zimbábue (Urban, 2017), Venezuela (Voge, 2018) e Turquia (Cuen, 2018).

Há, no entanto, indícios de que o Bitcoin está assumindo características de uma *commodity* e se distanciando da sua concepção original de moeda para transações. Não é por outro motivo que ele vem sendo cada vez mais chamado de “ouro digital” (James, 2018). Nessa linha, Coindesk (2017, p. 80) constatou que há uma divisão dos participantes do mercado com relação ao seu entendimento sobre o Bitcoin quando questionados “*What do you compare Bitcoin most to?*”. Para 57,02% o criptoativo seria comparável a uma moeda digital, ao passo que 42,98% dos respondentes da pesquisa o considera ouro digital. No mesmo sentido, a Commodity Futures Trading Commission (2015, p. 3) dos Estados Unidos considera que “*Bitcoin and other virtual currencies are encompassed in the definition and properly defined as commodities*”.

Com base em dados de 2013 a 2015, Hong (2017) encontrou evidência de que o Bitcoin poderia ser usado como um lucrativo veículo de investimento. Observou ainda que muitos investidores institucionais começaram a investir no criptoativo ainda em 2013. Também dando sustentação à perspectiva do Bitcoin como alternativa de investimento, Bouoiyour, Selmi, Tiwari e Olayeni (2016) encontraram evidência de que o preço do Bitcoin é determinado por fundamentos de longo prazo.

Dyhrberg (2016), por sua vez, utilizou dados de 2010 a 2015 para realizar uma análise de volatilidade utilizando o modelo GARCH. A autora concluiu que o Bitcoin pode ser classificado como algo entre o ouro e o dólar norte-americano, uma vez que não é um meio de troca puro nem uma reserva de valor pura. Sugeriu ainda que o Bitcoin combina vantagens das moedas e das *commodities*, podendo ser útil na gestão de carteiras.

Glaser, Zimmermann, Haferkorn, Weber, e Siering (2014), por sua vez, encontraram fortes indícios de que muitos usuários negociam Bitcoins como um investimento especulativo e têm pouca intenção de utilizá-lo como meio de pagamento. De forma similar, Baek e Elbeck (2015)

e Yermack (2015) concordaram com a natureza de ativo de investimento especulativo do Bitcoin.

Assim, apesar das discussões acerca da natureza e características do Bitcoin, é possível notar que ele tem se desenvolvido gradualmente como instrumento de investimento e de transferência de riqueza no tempo, o que parece ter sido impulsionado, tanto pelo aumento da segurança jurídica dos criptoativos, possibilitada pelo crescimento do número de jurisdições que já iniciaram a regulação do setor (Law Library of Congress, 2018), quanto pela iniciativa de empresas em lançar produtos e serviços financeiros relativos a esse mercado.

Nesse sentido, em abril de 2014 a Bloomberg (2014) incluiu o preço do Bitcoin no rol das suas informações financeiras. Em julho de 2017 a Commodity Futures Trading Commission (2017) aprovou o pedido da plataforma com foco em investidores institucionais LedgerX para realizar a negociação, compensação e liquidação de derivativos financeiros que tenham criptoativos como ativo subjacente. Em dezembro de 2017, a Chicago Board Options Exchange - CBOE (2017) e a Chicago Mercantile Exchange - CME (2017) iniciaram a negociação de contratos futuros de Bitcoin em suas plataformas.

Além disso, tem-se assistido à disseminação de “bolsas” de Bitcoin, que são as plataformas por meio das quais a maioria dos investidores de varejo negocia Bitcoins. Assemelham-se ao *home broker* de corretoras de valores mobiliários, mas elas próprias possuem o ambiente de liquidação e custódia da moeda digital. Elas são, na realidade, “bolsas” de criptoativos, já que raramente se restringem à negociação de Bitcoins.

## 2.2 O Bitcoin e a Eficiência da Carteira do Investidor

Utilizando dados do período de 2010 a 2013, Brière et al. (2015) analisaram o investimento em Bitcoin do ponto de vista de um investidor dos Estados Unidos com uma carteira diversificada, tanto com ativos tradicionais (ações, títulos de dívida e moedas), quanto com investimentos alternativos (*commodities*, *hedge funds* e imóveis). Os resultados do estudo evidenciam que carteiras de investimento com Bitcoin apresentam uma relação rentabilidade-risco superior às carteiras similares sem Bitcoin.

Na mesma linha, também utilizando dados do período de 2010 a 2013, Wu e Pandey (2014) estudaram o efeito do Bitcoin em uma carteira de investimentos.

A investigação foi baseada na otimização de diversos parâmetros (como o desvio padrão e os índices de Sharpe, de Sortino e Ômega) e na simulação de 1.000 portfólios com pesos aleatórios dos ativos constituintes. O estudo evidenciou que a inclusão do Bitcoin em uma carteira no período em questão aumentaria o seu retorno e reduziria o seu risco de perdas. Ademais, a investigação sustenta que o Bitcoin tem o potencial de melhorar o desempenho da carteira mesmo em cenários pessimistas.

No mesmo sentido, Gasser, Eisl, e Weinmayer (2015) utilizaram a metodologia do VaR, com dados de 2010 a 2015, para investigar o impacto do Bitcoin na eficiência de um portfólio diversificado sob a ótica de um investidor dos Estados Unidos. Os autores encontraram evidência de que o criptoativo otimizaria a carteira de investimentos, já que o aumento do risco do portfólio proveniente da inclusão do Bitcoin seria compensado pelo aumento de rentabilidade, resultando em uma melhor relação risco-retorno.

Aggarwal, Santosh e Bedi (2018) também utilizaram o VaR para analisar se o Bitcoin seria capaz de melhorar a relação risco-retorno de uma carteira de investimentos diversificada no mercado indiano. Com base em dados de 2010 a 2016, os autores encontraram evidência de que o criptoativo aumentaria a eficiência do portfólio em duas das três estratégias testadas e de que na estratégia “*long only*” os pesos dos ativos na carteira eram relativamente estáveis para diferentes horizontes de investimento em comparação à “*constrained*”.

Utilizando dados do período de 2013 a 2015, Hong (2017) investigou o momento de séries temporais (*time series momentum*) no retorno do investimento em Bitcoin e a rentabilidade da estratégia de negociação com base nessa ferramenta de análise. O autor concluiu que a adição de uma pequena parcela de Bitcoin a uma carteira de ações poderia melhorar a relação entre desempenho e risco daquela carteira. Encontrou, ainda, evidência de que mesmo investidores institucionais poderiam beneficiar de tal diversificação.

Na mesma linha, Corbet, Meegan, Larkin, Lucey e Yarovaya (2018) utilizaram uma técnica de decomposição de variância generalizada (*generalized variance decomposition*) com dados de 2013 a 2017 para analisar a relação entre três criptoativos, incluindo o Bitcoin, e ativos tradicionais do mercado financeiro. Os autores concluíram que há falta de relacionamento dos criptoativos com o mercado financeiro tradicional (o que evidencia seu potencial de

diversificação) e que os criptoativos podem configurar uma nova classe de investimentos.

Por sua vez, Ciaian, Rajcaniova e Kancs (2016), com dados de 2009 a 2015, sugeriram – na linha de Baek e Elbeck (2015) – que, no longo prazo, o preço do Bitcoin não estaria relacionado a fatores macroeconômicos. Além disso, não foi rejeitada a hipótese de que o comportamento especulativo dos investidores afeta o preço do Bitcoin.

Por fim, usando definições alternativas de diversificação (de Baur e Lucey (2010) e Ratner e Chiu (2013), e um modelo de correlação condicional dinâmica (*dynamic conditional correlation*), Bouri, Molnár, Azzi, Roubaud, e Hagfors (2017), encontraram evidência de que o Bitcoin é um bom ativo de diversificação. Todavia, os resultados mostraram que o Bitcoin nem sempre é um bom ativo para proteção da carteira ou para refúgio, sendo que seu comportamento apresenta diferenças conforme o mercado e o horizonte de tempo analisados.

### 2.3 Ativos Específicos e a Eficiência da Carteira do Investidor Brasileiro

Não foi localizado nenhum estudo acadêmico acerca do impacto do investimento em Bitcoin na eficiência da carteira do investidor do mercado brasileiro. Contudo, há estudos sobre o impacto de ativos ou índices específicos na carteira dos investidores no Brasil.

Utilizando dados de 1994 a 2007, Silveira e Barros (2010) estudaram o impacto dos contratos futuros de mercadorias agropecuárias em uma carteira diversificada. Os autores analisaram o comportamento das fronteiras eficientes nos cenários sem e com a possibilidade de inclusão dos ativos testados, tendo observado expansões da fronteira eficiente em alguns períodos. Porém elas não foram estatisticamente significativas conforme o método proposto por Gibbons, Ross, e Shanken (1989).

Oliveira e Silva (2009) analisaram se o investidor no mercado de ações brasileiro aumentaria a eficiência de sua carteira ao investir em ações de outros países da América Latina. Utilizando uma combinação de técnicas de inferência estatística com dados dos índices dos mercados de ações dos países para o período de 2003 a 2007, os autores encontraram evidência de que a inclusão do investimento em ações de outros países latino americanos melhoraria a fronteira eficiente sob o ponto de vista do investidor brasileiro.

Por sua vez, Cunha e Samanez (2014) concluíram que uma carteira de ações que replicasse o Índice de

Sustentabilidade Empresarial não teria sido capaz de apresentar desempenho superior ao Ibovespa e a outros índices setoriais do mercado acionário brasileiro durante o período analisado, que foi de 2005 a 2010.

Num outro estudo, Caldeira et al. (2014), utilizando o modelo GARCH, com base em dados de 2006 a 2011, encontraram evidência com significância estatística de que o investimento em cotas de fundos de investimentos multimercados resultaria em um portfólio com melhor relação risco-retorno do que os *benchmarks* adotados mesmo quando a frequência de rebalanceamento das carteiras era alterada.

Por fim, Lopes e Furtado (2006) discutiram a inclusão de cotas de fundos de *private equity* e *venture capital* nas carteiras de investimentos das entidades de previdência complementar. Eles concluíram que há oportunidades de diversificação, mas argumentaram que a forma de alocação desses investimentos para investidores institucionais, sobretudo quando se trata de entidades de previdência, não pode ser baseada nos conceitos de análise de média e variância e que, dadas as características desses ativos, deve-se lançar mão do modelo de *asset liability management*.

### 3 Dados e Metodologia

#### 3.1 Metodologia

Tendo em vista obter evidência do impacto do Bitcoin na eficiência de uma carteira de investimentos no mercado brasileiro, e de modo a tornar os resultados do presente estudo comparáveis com aqueles encontrados por Brière et al. (2015) e Wu e Pandey (2014), adotou-se metodologia similar à aplicada por aqueles autores, conforme detalhado a seguir.

##### 3.1.1 Fronteira Eficiente e Testes de seu Deslocamento

Para esboçar a fronteira eficiente de Markowitz (1952) para os ativos com risco, em cada cenário (sem e com Bitcoin) fixaram-se valores de desvio padrão (um por simulação) e utilizou-se o Solver do Excel para estimar os retornos máximos (em conjunto com os respectivos portfólios) para cada nível de risco. As exceções foram o ponto de mínima variância global, que foi calculado minimizando o desvio padrão em cada cenário, e o ponto de retorno máximo, que corresponde simplesmente ao

ponto em que o ativo com maior rentabilidade no período em cada cenário representa 100% da carteira.

Com o intuito de verificar se o deslocamento da fronteira eficiente nos cenários sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin possui significância estatística, realizaram-se testes conforme a metodologia descrita por Campbell, Lo e Mackinlay (1997, p. 196) baseada em Gibbons et al. (1989).

O teste inicia-se com o cálculo da estatística  $J$  conforme a equação a seguir Silveira e Barros (2010):

$$J = \left( \frac{n-i-1}{i} \right) \left( \frac{IS_c^2 - IS_s^2}{1 + IS_s^2} \right) \sim F(i, n-i-1)$$

onde  $n$  é o número de observações,  $i$  é o número de ativos passíveis de compor a carteira diversificada e  $IS_c$  e  $IS_s$  são os Índices de Sharpe dos portfólios com e sem a possibilidade de inclusão do Bitcoin, respectivamente.

A intuição do teste reside no fato de que quanto maior o diferencial dos Índices de Sharpe nos cenários com e sem a possibilidade de inclusão do ativo testado, tanto maior é a probabilidade de que o aumento do valor do indicador de desempenho resultante da inclusão do ativo não tenha ocorrido por acaso. Além disso, é importante notar que esta probabilidade é impactada positivamente pelo aumento do número de observações da amostra. A seguir, com base na distribuição  $F$ , realiza-se o teste de hipóteses em que a rejeição da hipótese nula evidencia o aumento da eficiência do portfólio quando há a inclusão do Bitcoin.

Seguindo a orientação de Hardin e Cheng (2002), para verificar se a inclusão do Bitcoin resulta em melhora estatisticamente significativa da carteira realizou-se o teste para vários pontos das fronteiras eficientes. Além disso, em linha com o que é sugerido por Campbell et al. (1997), aplicou-se o teste aos pontos correspondentes aos portfólios de tangência nos cenários sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin.

##### 3.1.2 Simulações de Otimização para o Período de 5 Anos

Foram feitas simulações iterativas alterando os pesos dos ativos e índices no portfólio para identificar a proporção que conduzia a uma carteira ótima no período 2013T3-2018T2 segundo diversos critérios, como minimização do desvio padrão e maximização dos índices de Sharpe, de Sortino e Ômega, conforme adotado por Wu e Pandey (2014).

Após estimar as carteiras ótimas sem a inclusão do Bitcoin, o experimento foi repetido com a possibilidade de inclusão do Bitcoin nas carteiras ótimas. Assim, foi possível verificar se as novas carteiras ótimas incluíram o Bitcoin e se, para cada um dos critérios utilizados, se encontrava evidência de que elas são mais eficientes do que as suas correspondentes sem Bitcoin.

A minimização do desvio padrão foi realizada com duas abordagens. Na primeira minimizou-se o desvio padrão total, ao passo que na segunda minimizou-se o risco medido com base somente na componente negativa do desvio padrão (*downside risk*), que é definida como o desvio padrão dos retornos abaixo do retorno mínimo aceitável, estipulado em 0%.

O Índice de Sharpe (Sharpe, 1966) mede a relação entre o prêmio de risco (retorno médio acima do retorno mínimo aceitável) e o risco (medido pelo desvio padrão), informando a quantidade de retorno esperada por cada unidade de risco assumida. Assim, quanto maior o Índice de Sharpe do fundo ou carteira (desde que positivo), melhor é o seu desempenho. Por sua vez, o Índice de Sortino (Sortino & Price, 1994) é similar ao de Sharpe, mas o risco é medido com base somente na componente negativa do desvio padrão. O Índice Ômega, proposto por Keating e Shadwick (2002), é baseado na distribuição proporcional dos retornos acima e abaixo do retorno mínimo aceitável de referência “r”. Uma das principais vantagens do seu uso pelo investidor é que ele minimiza o potencial de perdas extremas. A maximização do Índice Ômega é dada por:

$$Max = \left[ \frac{\int_r^{\infty} (1 - F(x)) dx}{\int_{-\infty}^r F(x) dx} \right] \forall_p \left\{ \begin{array}{l} \sum_i \omega_{pi} = 1 \\ \omega_{pi} \geq 0 \end{array} \right.$$

onde F(x) é a função de distribuição acumulada traçada com base nas simulações realizadas e  $\omega_{pi}$  é o peso do ativo i na carteira, sendo que a soma dos pesos é igual a 1 (o que representa 100% da carteira) e não há pesos negativos (não há posição “vendida”).

Na otimização do Índice Ômega, foram simulados cenários para “r” nulo e para “r” equivalente à taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Sistema Especial de Liquidação e de Custódia para títulos federais (Selic), que é aqui usada como Taxa Livre de Risco.

Assim, para cada um dos critérios explicitados, calcularam-se os pesos dos ativos na carteira que os otimiza. Foram utilizados retornos diários e adotados somente pesos positivos nas carteiras, já que a maioria dos investidores de varejo possui somente posições compradas.

Além disso, a adoção de tal restrição faz com que o artigo tenha metodologia similar –consequentemente tornando os resultados mais facilmente comparáveis – a Wu e Pandey (2014) e a Brière et al. (2015).

### 3.1.3 Simulações de Otimização para Períodos Trimestrais

Por fim, com o intuito de verificar se o Bitcoin seria incluído em carteiras otimizadas em períodos inferiores a 5 anos, estimou-se a composição das carteiras ótimas para cada um dos 20 trimestres do período analisado. O critério adotado foi o de maximização do Índice Ômega para  $r=0$  e as simulações foram realizadas com base nos retornos diários, em linha com Wu e Pandey (2014).

## 3.2 Dados

O período da amostra vai de 01/07/2013, início do trimestre a partir do qual há disponibilidade de dados confiáveis para o Bitcoin no mercado brasileiro, até 30/06/2018. As carteiras estudadas foram compostas pelos principais ativos e índices de ativos acessíveis a um investidor de varejo no mercado brasileiro e, em todos os casos, utilizaram-se os valores diários de fechamento.

Em renda fixa utilizou-se a taxa Selic, como *proxy* da taxa de juro isenta de risco, e o índice IMA-Geral<sup>1</sup>. Em renda variável foram utilizados os índices Ibovespa e IFIX<sup>2</sup>. Além disso, incluiu-se o Ouro e o dólar norte-americano (Dólar) entre os ativos passíveis de compor a carteira diversificada.

Para a extração dos dados de preço ou taxa diários de todos os ativos e índices componentes da carteira diversificada e do Bitcoin utilizou-se a plataforma de informações financeiras Economatica. Os dados sobre o criptoativo disponíveis na Economatica são provenientes do Mercado Bitcoin, que é a “bolsa” de Bitcoins com maior histórico de dados do Brasil e que intermediou parcela considerável das negociações de Bitcoin no país durante todo o período em análise.

Na Tabela 1 são apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas com base nas rentabilidades diárias. Ademais, apresentam-se o retorno, o desvio padrão e o Índice de Sharpe anuais dos ativos e índices. Nota-se que, qualquer que seja a métrica analisada, o Bitcoin destoa de todos os outros ativos e índices. Importa observar também que o desvio padrão da Selic é próximo de zero, indicando a adequação de sua utilização como Taxa Livre de Risco.

Em termos de correlação, é notório que a correlação entre a rentabilidade diária do Bitcoin e dos outros ativos

Tabela 1  
Estatísticas descritivas e correlações dos ativos e índices (dados diários)

	Selic	Bitcoin	IMA-Geral	Ibovespa	IFIX	Dólar	Ouro
<b>Painel A: Estatísticas descritivas dos ativos e índices</b>							
<b>Média</b>	0,04%	0,50%	0,04%	0,05%	0,03%	0,05%	0,05%
<b>Mediana</b>	0,04%	0,36%	0,05%	0,03%	0,05%	0,03%	0,00%
<b>Máximo</b>	0,05%	41,29%	1,96%	6,60%	1,75%	8,79%	6,94%
<b>Mínimo</b>	0,02%	-24,32%	-3,67%	-8,80%	-4,86%	-5,89%	-4,53%
<b>Desvio Padrão (diário)</b>	0,01%	5,31%	0,27%	1,46%	0,39%	0,95%	1,30%
<b>Retorno (anual)</b>	11,17%	153,86%	11,67%	9,03%	8,14%	11,58%	11,97%
<b>Desvio Padrão (anual)</b>	0,14%	83,55%	4,20%	23,06%	6,11%	14,97%	20,45%
<b>Sharpe (anual)</b>	0,00	1,71	0,12	-0,09	-0,50	0,03	0,04
<b>Painel B: Correlações entre os ativos e índices</b>							
<b>Bitcoin</b>	-0,02						
<b>IMA-Geral</b>	0,06	-0,08**					
<b>Ibovespa</b>	0,01	0,03	0,45**				
<b>IFIX</b>	0,09**	-0,03	0,29**	0,26**			
<b>Dólar</b>	-0,03	0,05	-0,39**	-0,35**	-0,28**		
<b>Ouro</b>	-0,02	0,04	-0,36**	-0,34**	-0,14**	0,43**	

Nota: Painéis elaborados com base nos dados diários de 2013T3 a 2018T2 (1239 observações). No Painel B, \*\* e \* indicam significância estatística de 1% e 5%, respectivamente.

é do ponto de vista da significância estatística nula, com exceção da inesperada correlação negativa com significância estatística entre o criptoativo e o índice IMA-Geral. Todavia, ambos os resultados permitem antever que a sua inclusão nos portfólios dos investidores permitiria reduzir risco e contribuir para a sua eficiência.

Tendo em consideração que o Bitcoin é um ativo negociado globalmente, analisou-se a existência de distorção significativa entre o preço pelo qual ele é negociado no Brasil e o seu preço no mercado internacional. O preço do Bitcoin no mercado brasileiro em relação ao preço internacional, em dólares norte-americanos (baseado no CoinDesk Bitcoin Price Index), convertido para o real, utilizando a cotação diária do Dólar Ptax Venda, apresenta um ágio com média de 6,89%, mediana de 6,03% e desvio padrão de 6,34%.

## 4 Apresentação, Análise e Discussão dos Resultados

### 4.1 Fronteira Eficiente e Testes de seu Deslocamento

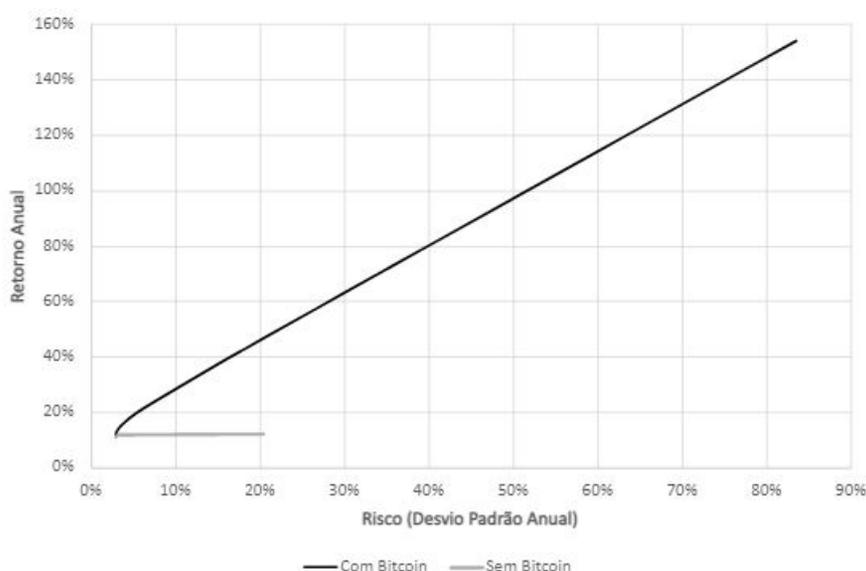
A Figura 1 apresenta as fronteiras eficientes esboçadas sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin nas carteiras.

A fronteira eficiente com a possibilidade de inclusão do Bitcoin domina aquela outra sem a possibilidade de inclusão do criptoativo, comportamento que é válido inclusive para os pontos de mínima variância global (pontos mais à esquerda nas curvas), já que eles são próximos, mas não coincidem, conforme se detalhará adiante.

Além disso, as carteiras com Bitcoin alcançam níveis de risco e de rentabilidade que as carteiras sem bitcoin não alcançam. Dessa maneira, além do deslocamento da fronteira eficiente, verifica-se que ela se expande, podendo atender os investidores com maior apetite por risco em busca de maiores retornos. Tanto o deslocamento quanto a expansão da fronteira eficiente são evidências de que o Bitcoin é capaz de aumentar a eficiência da carteira diversificada do investidor brasileiro.

A composição das carteiras de alguns pontos selecionados nas fronteiras eficientes é apresentada na Tabela 2.

Ademais, verifica-se que a inclusão de uma pequena parcela de Bitcoin na carteira diversificada reduziu o seu risco mínimo, ainda que com magnitude limitada (de 2,98% para 2,97%). Observa-se ainda que no ponto de risco mínimo da carteira sem a possibilidade de inclusão do Bitcoin (2,98%), a inclusão do Bitcoin elevou o retorno de 10,95% para 11,80%.



**Figura 1.** Fronteiras eficientes sem e com possibilidade de inclusão do Bitcoin

Tabela 2

**Pontos selecionados das fronteiras eficientes**

	Desvio Padrão	Retorno	Composição da carteira					
			Bitcoin	IMA-Geral	Ibovespa	IFIX	Dólar	Ouro
<b>Sem BTC</b>	2,98%	10,95%		64,38%	0,00%	20,49%	10,82%	4,31%
	4,20%	11,73%		80,61%	0,00%	0,00%	0,00%	19,39%
	6,11%	11,77%		68,16%	0,00%	0,00%	0,00%	31,84%
	14,97%	11,90%		25,11%	0,00%	0,00%	0,00%	74,89%
	20,45%	11,97%		0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
<b>Com BTC</b>	2,97%	11,36%	0,29%	64,37%	0,00%	20,36%	10,72%	4,27%
	2,98%	11,80%	0,56%	65,50%	0,00%	19,04%	10,60%	4,30%
	4,20%	16,74%	3,66%	78,41%	0,00%	3,92%	9,32%	4,69%
	6,11%	20,99%	6,54%	80,74%	0,00%	0,00%	8,13%	4,59%
	14,97%	37,05%	17,84%	75,21%	0,00%	0,00%	3,47%	3,48%
	20,45%	46,53%	24,51%	71,94%	0,00%	0,00%	0,71%	2,83%
	30,00%	62,92%	36,04%	63,91%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%
	40,00%	79,97%	48,03%	51,97%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	50,00%	96,98%	60,00%	40,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
60,00%	113,97%	71,94%	28,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
70,00%	130,94%	83,88%	16,12%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
83,52%	153,86%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	

*Nota:* A Tabela apresenta a composição das carteiras de alguns pontos selecionados nas fronteiras eficientes apresentadas na figura anterior. Para esboçar a fronteira eficiente para os ativos com risco em cada cenário (sem e com Bitcoin), fixaram-se diversos valores de desvio padrão (um por simulação) e utilizou-se o suplemento Solver do Excel para estimar os retornos máximos (em conjunto com os respectivos portfólios) para cada nível de risco. As exceções foram o ponto de mínima variância global em cada cenário, que foi calculado minimizando o desvio padrão, e o ponto de retorno máximo, que corresponde simplesmente ao ponto em que o ativo com maior rentabilidade no período em cada cenário representa 100% da carteira.

Analisando os pontos com risco de 4,20%, 6,11% e 14,97% (que são os riscos do IMA-Geral, IFIX e Dólar, respectivamente), nota-se que os retornos das carteiras diversificadas são superiores aos retornos dos ativos/índices individuais. Além disso, os retornos das carteiras com a possibilidade de inclusão do Bitcoin são

superiores aos das carteiras sem a possibilidade de inclusão do Bitcoin (aumentam de 11,73%, 11,77% e 11,90% para, respectivamente, 16,74%, 20,99% e 37,05%).

Por fim, vale notar que os pontos de máximo retorno correspondem a uma carteira composta integralmente pelo ativo de maior retorno. Esses ativos são o Ouro e

o Bitcoin nos portfólios sem e com a possibilidade de inclusão do criptoativo, respectivamente.

Quanto à carteira de tangência, no caso em que não há a possibilidade de inclusão do Bitcoin, ela apresenta desvio padrão de 3,27% e retorno de 11,69%. Com a possibilidade de inclusão do Bitcoin, tal carteira apresenta desvio padrão de 18,24% e retorno de 42,72%.

O ponto de tangência com a inclusão do Bitcoin apresenta inclinação consideravelmente superior face ao cenário sem o criptoativo. Há, por isso, um aumento do Prêmio de Risco do Mercado. Sob a ótica do investidor, tal aumento indica que, com a possibilidade de investir em Bitcoin (e a consequente possibilidade de obter uma remuneração mais elevada para cada nível de risco), ele poderá exigir uma remuneração maior dos demais produtos de investimento disponíveis no mercado. Sob a ótica das empresas, essa elevação do Prêmio de Risco do Mercado indica um potencial aumento do seu custo de capital. O aumento do retorno da Carteira de Mercado e do Prêmio de Risco do Mercado são evidências de que o Bitcoin é capaz de aumentar a eficiência de uma carteira diversificada ao alcance de investidores de varejo no mercado brasileiro.

Para a verificação da significância estatística do deslocamento da fronteira eficiente, conforme Silveira e Barros (2010), selecionaram-se 4 pontos com base no desvio padrão de ativos individuais (IMA-Geral, IFIX, Dólar e Ouro). Ademais, repetiu-se o teste de significância estatística utilizando os portfólios de tangência nos cenários sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin.

Os resultados são apresentados na Tabela 3 para o Índice de Sharpe e número de observações da série em bases mensais.

Analisando os resultados, nota-se no Painel A que, quando suficientemente afastados das carteiras de mínima variância global, se constata que o deslocamento da fronteira eficiente apresenta significância estatística a um nível de 10%. De maneira similar, no Painel B se constata que o deslocamento dos portfólios de tangência novamente apresenta significância estatística a um nível de 10%.

Desse modo, pode-se afirmar que há um deslocamento estatisticamente significativo da fronteira eficiente quando incluído o Bitcoin no mercado brasileiro, o que evidencia a capacidade do criptoativo em aumentar a eficiência do portfólio do investidor de varejo.

#### 4.2 Simulações de Otimização para o Período de 5 Anos

Nessa etapa verifica-se se o Bitcoin é capaz de otimizar o desempenho de uma carteira diversificada no mercado brasileiro segundo diferentes critérios. Para isso, estimaram-se as carteiras ótimas sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin para cada um dos critérios investigados, em conjunto com os respectivos indicadores (ver Tabela 4).

As duas primeiras colunas dos painéis apresentam os resultados da estimativa das carteiras visando à minimização do risco medido pela volatilidade dos retornos. Nota-se que as carteiras ótimas são compostas majoritariamente

Tabela 3  
Cálculo da significância estatística

Desvio Padrão (% a.a.)	Retorno (% a.a.)		Índice de Sharpe (a.a.)		Índice de Sharpe (a.m.)		Estatística J	Significância
	Sem BTC	Com BTC	Sem BTC	Com BTC	Sem BTC	Com BTC		
<b>Painel A: Cálculo da significância estatística com base em pontos selecionados</b>								
4,20%	11,73%	16,74%	0,1336	1,3273	0,0386	0,3831	1,2817	0,2816
6,11%	11,77%	20,99%	0,0978	1,6065	0,0282	0,4638	1,8913	0,0995*
14,97%	11,90%	37,05%	0,0485	1,7281	0,0140	0,4988	2,1960	0,0577*
20,45%	11,97%	46,53%	0,0391	1,7291	0,0113	0,4991	2,1993	0,0574*
<b>Painel B: Cálculo da significância estatística com base nos portfólios de tangência</b>								
3,27%	11,69%			0,1585		0,0458	2,1791	0,0595*
18,24%		42,72%		1,7296		0,4993		

Nota: Número de observações da série em ambos os painéis (n) = 60 meses. Número de ativos da carteira em ambos os painéis (i) = 6. \*\*\*, \*\* e \* indicam significância estatística de 1%, 5% e 10%, respectivamente, em ambos os painéis.

Tabela 4  
Carteiras ótimas sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin

	Risco Mínimo (DP Total)	Risco Mínimo (Semi-DP)	Sharpe Máximo	Sortino Máximo	Ômega Máximo [0%]	Ômega Máximo [100% Selic]
<b>Painel A: Carteiras ótimas sem o Bitcoin</b>						
IMA-Geral	64,38%	66,24%	84,00%	79,59%	75,57%	66,21%
Ibovespa	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	4,29%
IFIX	20,49%	14,08%	0,00%	0,00%	10,73%	0,00%
Dólar	10,82%	12,40%	8,61%	11,07%	10,58%	20,61%
Ouro	4,31%	7,29%	7,39%	9,34%	3,12%	8,90%
Retorno	10,95%	11,19%	11,69%	11,69%	11,29%	11,57%
Desvio Padrão	2,98%	3,11%	3,27%	3,38%	3,07%	3,89%
Indicador	2,98%	2,14%	0,16	0,23	1,89	1,05
P [perda]	37,32%	38,37%	38,85%	39,90%	36,91%	48,63%
<b>Painel B: Carteiras ótimas com o Bitcoin</b>						
Bitcoin	0,29%	0,52%	21,83%	16,24%	1,43%	29,34%
IMA-Geral	64,37%	65,17%	73,26%	82,70%	73,71%	65,48%
Ibovespa	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
IFIX	20,36%	15,48%	0,00%	0,00%	11,36%	0,00%
Dólar	10,72%	12,89%	1,82%	0,03%	9,89%	5,17%
Ouro	4,27%	5,94%	3,10%	1,02%	3,61%	0,00%
Retorno	11,36%	11,87%	42,72%	34,77%	13,31%	53,39%
Desvio Padrão	2,97%	3,06%	18,24%	13,72%	3,18%	24,46%
Indicador	2,97%	2,13%	1,73	2,41	1,98	1,32
P [perda]	36,75%	37,32%	41,76%	41,36%	36,67%	44,83%

Nota: O “Indicador” de desempenho otimizado em cada uma das 6 colunas foi, respectivamente: Desvio Padrão Total, Semi-Desvio Padrão (downside risk), Índice de Sharpe, Índice de Sortino e, para as duas últimas colunas, Índice Ômega. “P [perda]” é a probabilidade de perda definida como a quantidade de dias em que houve rentabilidade negativa ou menor que a Selic média do período (conforme o “r” de referência) em relação à quantidade total de dias analisados.

pelo IMA-Geral, seguido de participação relevante do IFIX, Dólar e Ouro, independente da utilização do desvio padrão total (DP Total) ou somente da sua componente negativa (Semi-DP), e independente da possibilidade de inclusão do Bitcoin na carteira.

No cenário em que há a possibilidade de inclusão do Bitcoin, as carteiras ótimas passam a contar com uma pequena parcela do criptoativo (0,29% e 0,52% de Bitcoin nas carteiras que minimizam o DP Total e o Semi-DP, respectivamente), o que resulta em uma redução (ainda que marginal) do risco das carteiras (o DP Total reduziu de 2,98% para 2,97% e o Semi-DP reduziu de 2,14% para 2,13%).

As duas colunas centrais dos painéis apresentam as composições das carteiras que maximizam os índices

de Sharpe e Sortino. A adição de Bitcoin na carteira diversificada otimizou esses indicadores de forma bastante relevante.

Com a inclusão de 21,83% de Bitcoin na carteira, o Índice de Sharpe máximo aumentou de 0,16 para 1,73. Como se viu anteriormente, essas são (teoricamente) as Carteiras de Mercado (isto é, as carteiras de tangência) nos cenários sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin. Com relação à maximização do Índice de Sortino, a adição de 16,24% de Bitcoin na carteira diversificada fez com que o indicador aumentasse de 0,23 para 2,41.

Por fim, as duas últimas colunas dos painéis apresentam as composições das carteiras que maximizam o Índice Ômega em dois cenários. O primeiro considera um retorno mínimo aceitável de referência  $r=0$ , conforme

adotado por Wu e Pandey (2014), ao passo que o segundo considera um “r” equivalente à taxa Selic média do período analisado.

Para  $r=0$ , o IMA-Geral representou mais de 70% da carteira em ambos os cenários (sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin), seguido por IFIX, Dólar e Ouro. Verifica-se que ao maximizar o Índice Ômega, a inclusão de 1,43% de Bitcoin fez com que ele aumentasse de 1,89 para 1,98, ao passo que a probabilidade de perda foi reduzida de 36,91% para 36,67%.

A probabilidade de perda é definida como a quantidade de dias em que houve rentabilidade negativa ou menor que a Selic média do período (conforme o “r” de referência) em relação à quantidade total de dias analisados.

Ademais, nota-se que, ao maximizar Ômega, se minimiza a probabilidade de perda das carteiras otimizadas quando comparadas aos portfólios estimados pelos demais critérios (minimização do DP Total e do Semi-DP e maximização dos Índices de Sharpe e de Sortino) nos dois cenários (sem e com Bitcoin). Para o cenário com Bitcoin, por exemplo, a otimização por Ômega resulta em uma probabilidade de perda de 36,67%, ao passo que esse valor é de 36,75%, 37,32%, 41,76% e 41,36% nos demais critérios.

Adicionalmente, estimaram-se as carteiras ótimas para um cenário em que “r” é equivalente à taxa Selic média do período. Quando não há a possibilidade de inclusão do Bitcoin, a maior parcela da carteira ainda é composta por IMA-Geral, seguida por Dólar, Ouro e Ibovespa. Quando

há a possibilidade de inclusão do Bitcoin, a supremacia do IMA-Geral é balanceada com participação de 29,34% do criptoativo. A presença do Bitcoin na carteira fez com que o Índice Ômega máximo aumentasse de 1,05 para 1,32. A probabilidade de perda, por sua vez, foi reduzida de 48,63% para 44,83%.

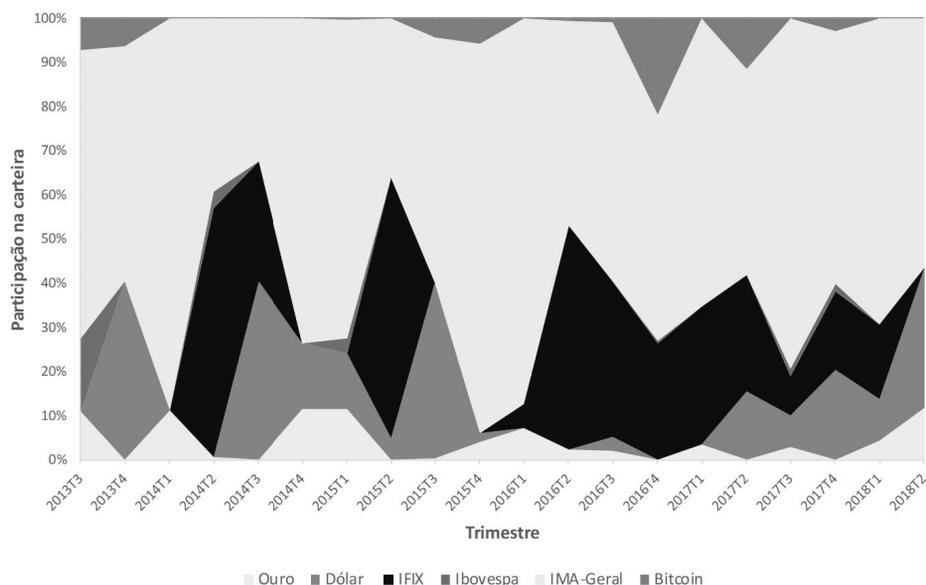
Por fim, importa mencionar que a melhora dos diversos indicadores tratados nessa seção provocada pela inclusão do Bitcoin constitui evidência de que ele é capaz de aumentar a eficiência de uma carteira diversificada no mercado brasileiro.

### 4.3 Simulações de Otimização para Períodos Trimestrais

Nessa etapa da investigação foram estimadas as carteiras ótimas em cada trimestre com a possibilidade de inclusão do Bitcoin segundo o critério de maximização do Índice Ômega. Esse estudo foi baseado nas rentabilidades diárias dos ativos e índices e, em linha com o que foi realizado por Wu e Pandey (2014), utiliza-se  $r=0$ . A Figura 2 apresenta as carteiras ótimas trimestrais.

Observa-se que o Bitcoin é incluído na carteira ótima em diversos períodos, nomeadamente nos segundos semestres de 2013, 2015 e 2016 e no segundo e quarto trimestres de 2017.

É interessante mencionar que a carteira otimizada por intervalos trimestrais apresenta maior equilíbrio entre os diversos ativos e índices componentes do que a carteira estimada para todo o período de 5 anos. Nesse sentido, a supremacia do IMA-Geral foi reduzida de 73,71%



**Figura 2.** Carteiras de Ômega máximo para  $r=0$  (dados diários)

no período completo para uma média trimestral de 61,08%, ao passo que os demais ativos e índices tiveram sua participação média aumentada nas simulações por intervalos trimestrais. A ordem de participação de cada ativo ou índice na carteira diversificada não é alterada, seja a otimização feita para todo o período ou por intervalos trimestrais. A ordem decrescente da participação dos ativos/índices nas carteiras diversificadas foi: IMA-Geral, IFIX, Dólar, Ouro, Bitcoin e Ibovespa<sup>3</sup>.

Além disso, a otimização baseada em períodos mais curtos possibilitou o aumento do Ômega de 1,98 (vide Tabela 4) para uma média de 4,18. O Bitcoin, que obteve participação de 1,43% na carteira estimada para todo o período, alcançou média de 3,14% nas carteiras trimestrais.

Os resultados apresentados nessa seção evidenciam que o Bitcoin é capaz de aumentar o desempenho de uma carteira de investimentos não somente em períodos longos (5 anos), mas também em períodos curtos (base trimestral).

## 5 Conclusão

Em linha com os resultados alcançados por Wu e Pandey (2014) e Brière et al. (2015) com relação ao mercado dos Estados Unidos, para o período de 2010 a 2013, encontra-se evidência de que o Bitcoin teria sido capaz de aumentar a eficiência da carteira diversificada de investimentos de um investidor de varejo no mercado brasileiro de 2013T3 a 2018T2.

A principal evidência nesse sentido refere-se ao deslocamento positivo da fronteira eficiente quando há participação do criptoativo no portfólio em relação ao cenário sem ele. O referido deslocamento possui significância estatística e está em linha com os resultados encontrados por Brière et al. (2015). Ademais, além do deslocamento positivo, houve expansão da fronteira eficiente com a inclusão do Bitcoin.

O deslocamento positivo da fronteira eficiente no cenário com Bitcoin resultou em aumento expressivo do retorno da carteira de tangência e do prêmio de risco do mercado, o que também é uma evidência da capacidade do criptoativo de aumentar a eficiência do portfólio.

De maneira similar, as simulações de carteiras ótimas sem e com a possibilidade de inclusão do Bitcoin mostraram que a adição de uma parcela de Bitcoin, ainda que pequena em alguns casos, melhorou todos os indicadores que se desejava otimizar, como o desvio padrão e os índices de Sharpe, de Sortino e Ômega. Além disso, a otimização por intervalos trimestrais indicou que

o Bitcoin compôs a carteira ótima em vários trimestres, aumentando o Índice Ômega de referência de desempenho. Esses resultados também são evidências do potencial do Bitcoin de aumentar a eficiência da carteira de investimentos e estão alinhados com Wu e Pandey (2014).

Diante das evidências de alteração da carteira de tangência e do aumento do prêmio de risco do mercado, é razoável supor que o custo de capital das empresas brasileiras poderá aumentar caso a adesão ao investimento no criptoativo continue crescendo e ele mantenha um bom desempenho como aquele observado nos últimos anos, constituindo um novo desafio para o desenvolvimento do mercado de capitais no Brasil. Assim, este cenário poderá merecer atenção de entes públicos como a CVM e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

## Notas

- i. O IMA-Geral é um índice desenvolvido pela Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiro e de Capitais (ANBIMA) e é composto por uma família de índices de renda fixa que representam a dívida pública por meio dos preços a mercado de uma carteira de títulos públicos federais.
- ii. O IFIX é o indicador do desempenho médio das cotações dos fundos imobiliários negociados nos mercados de bolsa e de balcão organizado da B3.
- iii. As carteiras ótimas simuladas ao longo do estudo não incluem o Ibovespa, exceto por pequenas participações na carteira ótima que maximiza o Ômega para “r” equivalente à taxa Selic média do período no cenário sem Bitcoin e em alguns trimestres na última parte da investigação. Tal deve-se ao seu reduzido desempenho em termos do binômio risco-retorno no período analisado. Na realidade, o Ibovespa apresentou o segundo menor retorno (perdendo somente para o IFIX) e o segundo maior risco (perdendo somente para o Bitcoin) no período, estando por isso longe da fronteira eficiente.

## Referências

Aggarwal, S., Santosh, M., & Bedi, P. (2018). Bitcoin and portfolio diversification: Evidence from India. In Kar A., Sinha S., & Gupta M. (Eds.), *Digital India. Advances*

*in theory and practice of emerging markets* (pp. 99-115). doi:10.1007/978-3-319-78378-9\_6

Baek, C., & Elbeck, M. (2015). Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look. *Applied Economics Letters*, 22(1), 30-34.

Baur, D. G., & Lucey, B. M. (2010). Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold. *Financial Review*, 45(2), 217-229.

Bloomberg. (2014). Bitcoin now on Bloomberg. Disponível em <https://www.bloomberg.com/company/announcements/bitcoin-now-bloomberg/>

Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, technology, and governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213-238.

Bouoiyour, J., Selmi, R., Tiwari, A. K., & Olayeni, O. R. (2016). What drives Bitcoin price? *Economics Bulletin*, 36(2), 843-850.

Bouri, E., Molnár, P., Azzi, G., Roubaud, D., & Hagfors, L. I. (2017). On the hedge and safe haven properties of Bitcoin: Is it really more than a diversifier? *Finance Research Letters*, 20, 192-198.

Brière, M., Oosterlinck, K., & Szafarz, A. (2015). Virtual currency, tangible return: Portfolio diversification with bitcoin. *Journal of Asset Management*, 16(6), 365-373.

Caldeira, J. F., Moura, G. V., Santos, A. A. P., & Tessari, C. (2014). Seleção de carteiras com modelos fatoriais heterocedásticos: Aplicação para fundos de fundos multimercados. *Revista de Administração Mackenzie*, 15(2), 127-161.

Campbell, J. Y., Lo, A. W., & Mackinlay, A. C. (1997). *The econometrics of financial markets*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Chicago Board Options Exchange - Cboe. (2017). Cboe Bitcoin futures (XBT) close first day of trading. Disponível em <http://ir.cboe.com/-/media/Files/C/CBOE-IR-V2/press-release/2017/cboe-bitcoin-futures-end-first-day-with-volume-of-more-than-4000.pdf>

Chicago Mercantile Exchange - CME. (2017). CME Bitcoin futures - Frequently asked questions. Disponível

em <https://www.cmegroup.com/education/bitcoin/cme-bitcoin-futures-frequently-asked-questions.html>

Ciaian, P., Rajcaniova, M., & Kancs, D. (2016). The economics of Bitcoin price formation. *Applied Economics*, 48(19), 1799-1815.

Coindesk. (2017). *State of Blockchain Q2 2017*. Disponível em [https://media.coindesk.com/uploads/2017/09/state\\_of\\_blockchain\\_q2\\_2017.pdf](https://media.coindesk.com/uploads/2017/09/state_of_blockchain_q2_2017.pdf)

CoinMarketCap. (2018). *24 hour volume rankings (exchange)*. Disponível em <https://coinmarketcap.com/exchanges/volume/24-hour/all/>

Commodity Futures Trading Commission. (2015). *CFTC Docket No. 15-29*. Disponível em <http://www.cftc.gov/idc/groups/public/@lrenforcementactions/documents/legalpleading/enfcoinfliporder09172015.pdf>

Commodity Futures Trading Commission. (2017). *Press Release 7584-17*. Disponível em <https://www.cftc.gov/PressRoom/PressReleases/pr7584-17>

Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics Letters*, 165, 28-34.

Cuen, L. (2018). Volumes surge on Turkey's crypto exchanges as lira tanks. *Coindesk*. Disponível em <https://www.coindesk.com/turkey-crypto-exchanges-bitcoin-lira/>

Cunha, F. A. F. S., & Samanez, C. P. (2014). Análise de desempenho dos investimentos sustentáveis no mercado acionário brasileiro. *Production*, 24(2), 420-434.

Dyhrberg, A. H. (2016). Bitcoin, gold and the dollar - A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*, 16, 85-92.

ExchangeWar. (2018). Página principal. Disponível em <https://exchangewar.info/>

Farrell, M. (2013). Bitcoin prices surge post-Cyprus bailout. *CNN Money*. Disponível em <https://money.cnn.com/2013/03/28/investing/bitcoin-cyprus/index.html>

- Gasser, S., Eisl, A., & Weinmayer, K. (2015). *Caveat emptor: Does Bitcoin improve portfolio diversification?* Disponível em <https://epub.wu.ac.at/4674/1/SSRN-id2408997.pdf>
- Gibbons, M. R., Ross, S. A., & Shanken, J. (1989). Test of the efficiency of a given portfolio. *Econometrica*, 57(5), 279-295.
- Glaser, F., Zimmermann, K., Haferkorn, M., Weber, M., & Siering, M. (2014). *Bitcoin - asset or currency? Revealing users' hidden intentions*. Paper presented at the European Conference on Information Systems, Tel Aviv.
- Guimarães, F. (2018). Investidor em bitcoin se aproxima do total do Tesouro Direto. *Exame*. Disponível em <https://exame.abril.com.br/seu-dinheiro/investidor-em-bitcoin-se-aproxima-do-total-do-tesouro-direto/>
- Hardin, W. G., & Cheng, P. (2002). Farmland investment under conditions of certainty and uncertainty. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 25(1), 81-98
- Heritage Foundation. (2018). *2018 index of economic freedom*. Disponível em <https://www.heritage.org/index/pdf/2018/book/highlights.pdf>
- Hong, K. H. (2017). Bitcoin as an alternative investment vehicle. *Information Technology and Management*, 18(4), 265-275.
- James, H. (2018). Lucre's allure. *Finance and Development - A Quarterly Publication of the International Monetary Fund*, 55(2), 17-19.
- Kashyap, K. (2016). India's demonetization is causing Bitcoin to surge inside the country. *Forbes*. Disponível em <https://www.forbes.com/sites/krnkashyap/2016/12/22/indias-demonetization-is-causing-bitcoin-to-surge-inside-the-country/#2b6b15757dfc>
- Keating, C., & Shadwick, W. F. (2002). A universal performance measure. *Journal of Performance Measurement*, 6(3), 59-85. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/228550687\\_A\\_Universal\\_Performance\\_Measure](https://www.researchgate.net/publication/228550687_A_Universal_Performance_Measure)
- Law Library of Congress. (2018). *Regulation of cryptocurrency around the world*. Disponível em <https://www.loc.gov/law/help/cryptocurrency/regulation-of-cryptocurrency.pdf>
- Lopes, A. B., & Furtado, C. V. (2006). Private equity na carteira de investimentos das entidades de previdência privada. *Revista Contabilidade & Finanças*, 17(n.spe2), 108-126.
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, 7(1), 77-91.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Bitcoin.org*. Disponível em <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Oliveira, M. A. C., & Silva, L. S. A. (2009). A inclusão de ações da América Latina sob o ponto de vista do investidor brasileiro: Inferências sobre os pesos na fronteira eficiente. *Gestão & Produção*, 16(2), 325-332
- Organisation for Economic Cooperation and Development. (2015). *Results from PISA 2015 - Financial literacy - Country note - Brazil*. Disponível em <https://www.oecd.org/pisa/PISA-2105-Financial-Literacy-Brazil.pdf>
- Popper, N. (2015). Can Bitcoin conquer Argentina? *New York Times*. Disponível em <https://www.nytimes.com/2015/05/03/magazine/how-bitcoin-is-disrupting-argentinas-economy.html>
- Ratner, M., & Chiu, C. C. (2013). Hedging stock sector risk with credit default swaps. *International Review of Financial Analysis*, 30, 18-25
- Rosenfeld, E. (2015). Greek crisis stokes Bitcoin prices higher. *CNBC*. Disponível em <https://www.cnbc.com/2015/06/29/greek-crisis-stokes-bitcoin-prices-higher.html>
- Sharpe, W. F. (1966). Mutual fund performance. *Journal of Business*, 39(1), 119-138.
- Silveira, R. L. F., & Barros, G. S. A. C. (2010). Uma análise da alocação de contratos futuros sobre commodities em portfólios diversificados. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 48(1), 195-222.
- Sortino, F. A., & Price, L. N. (1994). Performance measurement in a downside risk framework. *Journal of Investing*, 3(3), 59-64.
- Urban, R. (2017). Bitcoin is the new crisis currency. *Bloomberg*. Disponível em <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-11-17/bitcoin-emerges-as-crisis-currency-in-hotspots-such-as-zimbabwe>
- Viglione, R. (2015). *Does governance have a role in pricing? Cross-country evidence from Bitcoin markets*. Disponível em <https://ssrn.com/abstract=2666243>

Voge, C. (2018). Where could Bitcoin succeed as a currency? In a failed state. *Wired*. Disponível em <https://www.wired.com/story/where-could-bitcoin-succeed-as-a-currency-in-a-failed-state/>

Wildau, G. (2017). China probes Bitcoin exchanges amid capital flight fears. *Financial Times*. Disponível em <https://www.ft.com/content/bad16a88-d6fd-11e6-944b-e7eb37a6aa8e>

Wu, C. Y., & Pandey, V. K. (2014). The value of Bitcoin in enhancing the efficiency of an investor's portfolio. *Journal of Financial Planning*, 27(9), 44-52.

Yermack, D. (2015). Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal. *Handbook of Digital Currency*, 31-43.

**Agências de fomento:**

CEFUP: This research is financed by the European Union and Portuguese public funds through the FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.) and the European Social Funds (Operational Program Norte 2020) under projects number UIDB/04105/2020.

**Conflito de interesse:**

Os autores não possuem conflito de interesse a declarar.

**Copyright:**

RBGN detém os direitos autorais deste conteúdo publicado.

**Análise de plágio:**

A RBGN realiza análise de plágio em todos os seus artigos no momento da submissão e após a aprovação do manuscrito por meio da ferramenta iThenticate.

**Autores:**

**1. Davi Trindade Batista**, Mestre em Economia e Administração de Empresas, Universidade do Porto, Faculdade de Economia.

E-mail: dbatista@cvm.gov.br

**2. Carlos Francisco Ferreira Alves**, Doutor em Economia, Universidade do Porto, Faculdade de Economia.

E-mail: calves@fep.up.pt

**Contribuição dos autores:**

**Davi Trindade Batista:** Definição do problema de pesquisa; Desenvolvimento das hipóteses ou questões de pesquisa (trabalhos empíricos); Desenvolvimento das proposições teóricas (ensaios teóricos); Fundamentação teórica/Revisão de literatura; Definição dos procedimentos metodológicos; Coleta de dados; Análise estatística; Análise e interpretação dos dados; Revisão crítica do manuscrito; Redação do manuscrito.

**Carlos Francisco Ferreira Alves:** Definição do problema de pesquisa; Desenvolvimento das hipóteses ou questões de pesquisa (trabalhos empíricos); Desenvolvimento das proposições teóricas (ensaios teóricos); Fundamentação teórica/Revisão de literatura; Definição dos procedimentos metodológicos; Análise e interpretação dos dados; Revisão crítica do manuscrito; Redação do manuscrito.