



Bitcoin na Teoria de Markowitz: Influência na Eficiência da Carteira

Bitcoin in Markowitz's Theory: Influence on Portfolio Efficiency

Bitcoin en la Teoría de Markowitz: Influencia en la Eficiencia de la Cartera

 10.5020/2318-0722.2025.31.e16220

Marcelo Wakamoto  

Profissional com mais de 10 anos de experiência em bancos, informação e startups. Especialista em dados, CRM, crédito, projeções e consumo bancário. Domina SQL, SAS e apresentações. Atuou em Bradesco, Next, Serasa e QuintoAndar, transformando dados em decisões estratégicas. Perfil analítico e orientado a resultados.

Pedro Paulo Santos Cavalcante  

Professor nos cursos de graduação de Ciências Econômicas, Gestão Pública e Comércio Exterior no Centro Universitário SENAC. Doutorando em Administração na ESPM, Mestre em Comportamento do Consumidor pela ESPM e Mestre em Economia pela Universidade de Buenos Aires (Argentina). Graduado em Economia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Resumo

Este estudo investiga o impacto da inclusão do Bitcoin na eficiência de carteiras de investimentos tradicionais, utilizando a Teoria Moderna do Portfólio de Markowitz. Por meio de uma pesquisa quantitativa aplicada, foram analisados indicadores de risco, retorno, correlação e índice de Sharpe de carteiras compostas por ações do índice Bovespa, com e sem o Bitcoin, em intervalos de cinco e 10 anos. Os resultados indicam que, embora o Bitcoin apresente a maior volatilidade entre os ativos analisados, sua baixa correlação com as ações tradicionais contribui para deslocar a fronteira eficiente para níveis superiores, permitindo melhor relação risco-retorno para investidores dispostos a tolerar maior oscilação. Teoricamente, o estudo amplia a aplicação da Teoria do Portfólio ao incluir criptoativos como instrumentos válidos de diversificação. Gerencialmente, sugere-se que gestores de fundos e investidores individuais considerem uma alocação moderada em Bitcoin para otimizar suas estratégias de diversificação e mitigação de risco não sistemático, principalmente em contextos de alta volatilidade de mercados tradicionais.

Palavras chaves: Teoria de Markowitz, Índice de Sharpe, risco-retorno, otimização de carteira, *Bitcoin*.

Abstract

This study investigates the impact of including Bitcoin on the efficiency of traditional investment portfolios, using Markowitz's Modern Portfolio Theory. Through an applied quantitative research approach, risk, return, correlation, and Sharpe ratio indicators were analyzed for portfolios composed of stocks from the Bovespa index, with and without Bitcoin, over five- and ten-year intervals. The results indicate that, although Bitcoin presents the highest volatility among the analyzed assets, its low correlation with traditional stocks contributes to shifting the efficient frontier to higher levels, allowing a better risk-return relationship for investors willing to tolerate greater fluctuation. From a theoretical perspective, the study expands the application of Portfolio Theory by including cryptoassets as valid diversification instruments. From a managerial perspective, it is suggested that fund managers and individual investors consider a moderate allocation to Bitcoin in order to optimize their diversification strategies and mitigate non-systematic risk, particularly in contexts of high volatility in traditional markets.

Keywords: Markowitz Theory, Sharpe ratio, risk-return, portfolio optimization, *Bitcoin*.

Resumen

Este estudio investiga el impacto de la inclusión de Bitcoin en la eficiencia de carteras de inversión tradicionales, utilizando la Teoría Moderna de Portafolios de Markowitz. A través de una investigación cuantitativa aplicada, se analizaron indicadores de riesgo, rendimiento, correlación y el índice de Sharpe de carteras compuestas por acciones del índice Bovespa, con y sin Bitcoin, en intervalos

de cinco y diez años. Los resultados indican que, aunque Bitcoin presenta la mayor volatilidad entre los activos analizados, su baja correlación con las acciones tradicionales contribuye a desplazar la frontera eficiente hacia niveles superiores, permitiendo una mejor relación riesgo–rendimiento para los inversores dispuestos a tolerar mayores oscilaciones. Desde el punto de vista teórico, el estudio amplía la aplicación de la Teoría de Portafolios al incluir los criptoactivos como instrumentos válidos de diversificación. En términos gerenciales, se sugiere que los gestores de fondos y los inversores individuales consideren una asignación moderada en Bitcoin para optimizar sus estrategias de diversificación y mitigación del riesgo no sistemático, especialmente en contextos de alta volatilidad de los mercados tradicionales.

Palabras clave: Teoría de Markowitz, Índice de Sharpe, riesgo–rendimiento, optimización de cartera, Bitcoin.

Estima-se que, de cada 10 investidores em ativos financeiros, cerca de 4 possuam criptoativos (Binance, 2025). Com um *market cap* de aproximadamente US\$ três trilhões (Triple-A, 2024), o Bitcoin se destaca entre as mais de 16 mil criptomoedas, representando cerca de 63% do total desse mercado (Coingecko, 2025). Apesar da relevância desse ativo globalmente, somente em 2024 a SEC (Comissão de Valores Mobiliários dos EUA) aprovou os ETFs (Exchange Traded Fund) de Bitcoin (Marins, 2025). O Brasil, apesar de figurar entre os líderes globais, com a quinta maior taxa de adoção de criptoativos (Triple-A, 2024), ainda está em fase de consulta pública para a regulamentação desses ativos (Marins, 2025).

Nesse contexto, os criptoativos, com destaque para o Bitcoin, emergem como elementos inovadores, desafiando as estruturas financeiras tradicionais e propondo novas abordagens para a gestão de risco e retorno. Introduzido em 2008, o Bitcoin, proposto por um indivíduo ou grupo conhecido pelo pseudônimo Satoshi Nakamoto (Nakamoto, 2008), foi concebido como uma moeda digital descentralizada e projetada para operar sem intermediários, características que o posicionam como uma alternativa única em períodos de instabilidade econômica (Nakamoto, 2008; Silva et al., 2020).

Com sua volatilidade pronunciada e baixa correlação com ativos convencionais, como ações e títulos públicos, o Bitcoin tem atraído a atenção de investidores e acadêmicos interessados em explorar seu potencial como ferramenta de diversificação (Oliveira et al., 2020). Evidências preliminares apontam que sua inclusão em portfólios pode melhorar a eficiência na alocação de recursos, especialmente em contextos de incerteza macroeconômica (Fernandes, 2023). Apesar disso, persistem debates sobre como a sua natureza especulativa e os riscos associados impactam os princípios consagrados da Teoria Moderna do Portfólio (TMP), desenvolvida por Markowitz.

A TMP oferece um arcabouço analítico robusto para a construção de carteiras otimizadas, baseando-se na relação entre retorno esperado, risco e correlações entre ativos para delinear a fronteira eficiente (Markowitz, 1952, 1991). Em face a isso, este estudo se propõe a avaliar a influência da inclusão do Bitcoin na eficiência de carteiras construídas segundo os princípios da TMP. Para isso, foram utilizados dados históricos de ativos brasileiros cotados na B3 e do Bitcoin, considerando diferentes horizontes temporais — cinco e 10 anos. As carteiras foram otimizadas sob dois critérios: mínima variância e máximo índice de Sharpe. Além disso, foram comparados os resultados com os de índices de mercado amplamente utilizados, tais como IBOV, IDIV e ISE, visando identificar ganhos em termos de risco-retorno.

Como resultados, o estudo demonstra que, embora o Bitcoin apresente maior volatilidade, sua baixa correlação com os demais ativos desloca a fronteira eficiente para patamares superiores, potencializando retornos para um mesmo nível de risco. Esses achados reforçam a utilidade do Bitcoin como instrumento complementar de diversificação, ampliando a aplicação prática da TMP em um contexto de ativos digitais. Do ponto de vista gerencial, o estudo oferece contribuições valiosas para investidores e gestores de fundos, ao demonstrar que a alocação criteriosa de criptoativos pode mitigar riscos não sistemáticos e otimizar a relação risco-retorno, especialmente em cenários de instabilidade econômica. Ao articular evidências empíricas com fundamentos clássicos da teoria de Markowitz, este trabalho contribui para preencher lacunas na literatura sobre ativos alternativos e abre caminho para novas pesquisas que integrem finanças tradicionais e mercados digitais emergentes.

Revisão de Literatura

Nesta seção, são apresentados os principais fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento. Para permitir uma compreensão mais estruturada do fenômeno investigado, a revisão de literatura foi organizada em quatro subseções distintas: (i) a Teoria Moderna do Portfólio de Markowitz; (ii) a diversificação e eficiência de carteiras com ativos alternativos; (iii) o Bitcoin e os criptoativos como ativos de investimento; e (iv) teorias complementares, limitações de modelos tradicionais e o contexto regulatório brasileiro e internacional. Esses quatro eixos formam uma base essencial para a compreensão da gestão eficiente de carteiras de investimentos (Kohatsu et al., 2023; Pakes et al., 2022), pois representam as dimensões técnica e metodológica na composição de portfólio ótimo (Kohatsu et al., 2023; Neves & Silva, 2017).

A integração dessas perspectivas possibilita a formulação de estratégias de alocação que não apenas fortalecem a resiliência e a diversificação das carteiras, mas também incorporam de forma criteriosa os novos instrumentos

financeiros, como os criptoativos. A revisão de literatura apresentada, a seguir, oferece uma base sólida para o entendimento das relações entre risco e retorno, destacando como a evolução dos mercados financeiros amplia as possibilidades de combinação de ativos e reafirma a relevância de modelos teóricos clássicos adaptados a um contexto de inovação tecnológica e financeira.

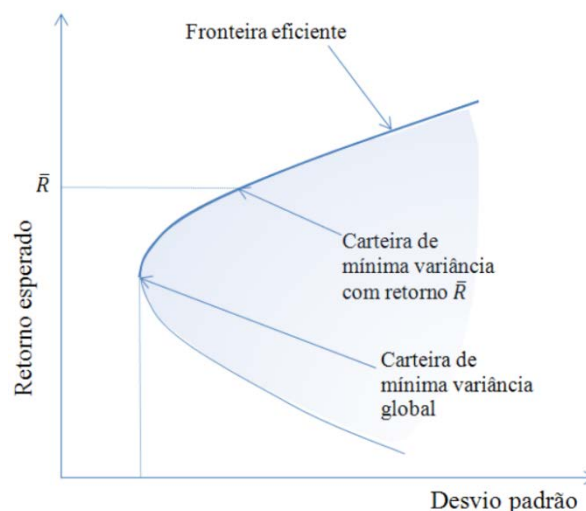
Teoria Moderna do Portfólio de Markowitz

A TMP, desenvolvida por Harry Markowitz, em 1952, revolucionou a gestão de investimentos ao introduzir uma abordagem quantitativa que considera não apenas a volatilidade individual dos ativos, mas principalmente as interações entre eles por meio da covariância (Markowitz, 1952, 1991). Essa visão permitiu aos investidores equilibrar retorno esperado e risco de forma sistemática, consolidando a TMP como fundamento das finanças modernas (Assaf, 2018; Elton et al., 2014).

O núcleo da teoria é a fronteira eficiente, que identifica as carteiras que oferecem o maior retorno para um dado nível de risco ou o menor risco para um retorno desejado. A Figura 1 ilustra essa relação, mostrando como a diversificação pode aprimorar a relação risco-retorno em comparação com investimentos em ativos isolados. Através da análise de variância e covariância, a diversificação reduz o risco não sistemático sem sacrificar retornos, melhorando significativamente a relação risco-retorno em relação a ativos isolados (Kohatsu et al., 2023; Neves & Silva, 2017). Essa estratégia é especialmente valiosa em mercados voláteis, conferindo maior resiliência ao portfólio (Kohatsu et al., 2023).

Figura 1

Fronteira Eficiente e a Relação entre Retorno Esperado e Desvio Padrão (Risco)



Fonte: Assaf, 2018.

A metodologia de otimização matemática de Markowitz continua sendo amplamente aplicada a diversas classes de ativos, como: ações, renda fixa, fundos imobiliários e alternativas. Demonstrando versatilidade e relevância duradoura (Gonçalves et al., 2024; Zanini & Figueiredo, 2005). Seus princípios fundamentais permanecem como um guia essencial para a alocação eficiente de recursos, adaptando-se a novos contextos e reforçando a importância da diversificação estratégica para alcançar o equilíbrio ideal entre risco e retorno.

Diversificação e Eficiência de Carteiras com Ativos Alternativos

A TMP estabeleceu as bases para a gestão de investimentos ao demonstrar que a diversificação reduz o risco não sistemático sem sacrificar retornos. No entanto, a literatura tradicional tem se concentrado quase exclusivamente em ativos convencionais, como ações e títulos, negligenciando o potencial de classes alternativas, como criptomoedas, para otimizar carteiras. Enquanto estudos clássicos validam a eficácia da diversificação com ativos tradicionais (Gonçalves et al., 2024; Zanini & Figueiredo, 2005), pouco se sabe sobre como ativos digitais, caracterizados por alta volatilidade e baixa correlação com mercados tradicionais, impactam a fronteira eficiente.

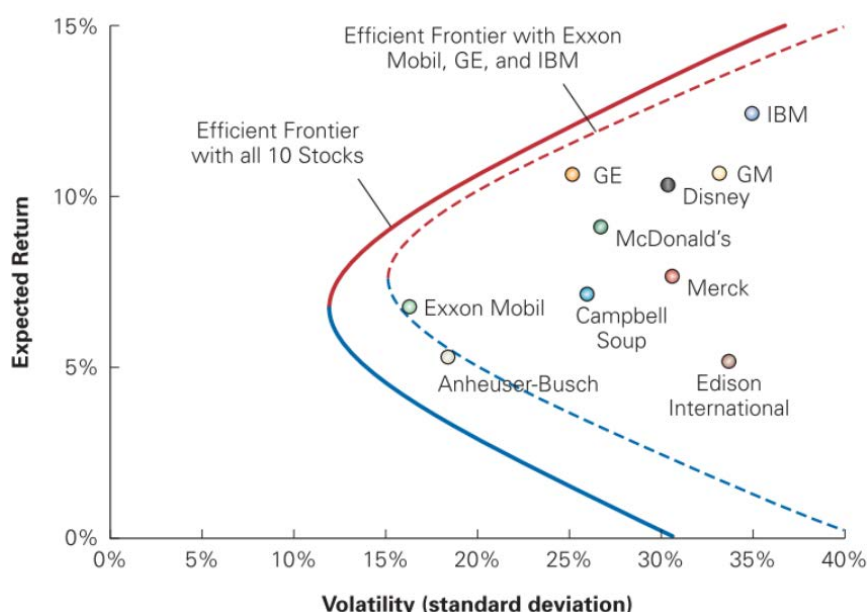
A Figura 2 ilustra a otimização clássica de portfólios com 10 ações, mostrando como combinações eficientes maximizam retornos para cada nível de risco. Contudo, essa abordagem omite ativos como o Bitcoin, que, apesar de sua volatilidade, podem oferecer ganhos de diversificação únicos devido à sua independência de ciclos econômicos

convencionais (Oliveira et al., 2020). A escassez de pesquisas robustas sobre criptoativos na TMP revela uma lacuna crítica: se a diversificação com ouro ou imóveis é bem documentada, o mesmo não ocorre com ativos digitais, cujos padrões de risco e correlação desafiam pressupostos tradicionais.

Estudos recentes demonstram que a inclusão de ativos – como fundos imobiliários e ouro, por exemplo – pode estabilizar carteiras em cenários de incerteza, devido à sua menor sensibilidade a flutuações macroeconômicas (Kohatsu et al., 2023; Neves & Silva, 2017). No entanto, a seleção desses ativos requer uma análise rigorosa de suas características, como liquidez, volatilidade e correlações com outros componentes da carteira. Apesar dos benefícios, a incorporação de ativos alternativos também apresenta desafios, como maior complexidade na gestão e potenciais custos de transação elevados. Além disso, a heterogeneidade desses ativos exige que os investidores compreendam suas dinâmicas específicas, como os ciclos de mercado imobiliário ou a volatilidade de *commodities* (Pakes et al., 2022).

Figura 2

Fronteira Eficiente e Otimização de Portfólios com 10 ações.



Fonte: Berk e DeMarzo, 2014.

Bitcoin e Criptoativos como Ativos de Investimento

O Bitcoin, criado como moeda digital descentralizada, evoluiu para um ativo de investimento que desafia paradigmas tradicionais da gestão de carteiras. Estudos mostram que, apesar de sua alta volatilidade, ele apresenta correlação historicamente baixa com ativos acionários, tornando-o um poderoso instrumento de diversificação segundo os preceitos da Teoria Moderna do Portfólio (Batista & Alves, 2021; Gonçalves et al., 2024; Kohatsu et al., 2023; Zanini & Figueiredo, 2005). O ecossistema cripto ampliou-se com Ethereum, *stablecoins* e *tokens* DeFi, oferecendo novas possibilidades de *hedge* e otimização de portfólio, embora riscos regulatórios, volatilidade extrema e histórico limitado ainda exijam alocações moderadas e análises estatísticas rigorosas para preservar a estabilidade da carteira.

A transição do Bitcoin de ativo especulativo para ferramenta estratégica de diversificação representa uma extensão natural da TMP a classes alternativas, redefinindo fronteiras da otimização risco-retorno. Para acadêmicos, gestores e investidores, incorporar criptoativos com critério não configura mera tendência, mas uma resposta lógica à busca contínua por eficiência em um ambiente financeiro cada vez mais dinâmico e inovador.

Estudos empíricos anteriores sobre a inclusão do Bitcoin em carteiras otimizadas pela Teoria de Markowitz têm demonstrado resultados mistos, mas geralmente positivos em termos de diversificação. Por exemplo, Brière et al. (2015) analisaram dados de 2010 a 2013 e encontraram que adicionar Bitcoin a portfólios tradicionais de ações e *bonds* melhora o índice de Sharpe devido à baixa correlação, embora aumente a volatilidade geral. Da mesma forma, Platanakis e Urquhart (2019) testaram portfólios de 2014 a 2018, concluindo que alocações moderadas (até 5%) de Bitcoin deslocam a fronteira eficiente para cima, especialmente em períodos de incerteza, mas alertam para riscos de estimação em amostras pequenas.

Estudos mais recentes, como o de Mazanec (2021), utilizando dados de 2017 a 2020, confirmam ganhos em eficiência para carteiras de multiativos, enquanto Akhtaruzzaman et al. (2020) observaram benefícios em diversificação

durante crises, como a pandemia de Covid-19, com base em dados de 2010 a 2019. Para ilustrar essas evidências, Tabela 1 apresenta uma comparação sintética de estudos selecionados, destacando autores, períodos analisados e principais achados. Essa análise revela uma tendência de melhoria na relação risco-retorno, mas com ressalvas para a alta volatilidade do Bitcoin em horizontes curtos.

Tabela 1

Estudos Empíricos sobre Bitcoin em Carteiras Markowitz

Autores	Período Analisado	Principais Resultados
Brière et al. (2015)	2010–2013	Melhora Sharpe; baixa correlação beneficia diversificação, mas aumenta volatilidade.
Platanakis & Urquhart (2019)	2014–2018	Alocação moderada desloca fronteira eficiente; riscos de sobrestimação.
Mazanec (2021)	2017–2020	Ganhos em eficiência para portfólios multiativos; recomendado para investidores tolerantes a risco.
Akhtaruzzaman et al. (2020)	2010–2019	Benefícios em crises; <i>hedge</i> efetivo contra incertezas macroeconômicas.

Teorias Complementares, Limitações e Contexto Regulatório

Embora a Teoria Moderna do Portfólio (TMP) continue sendo um marco fundamental para a otimização de carteiras, sua dependência indireta no *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), revela limitações ao lidar com ativos alternativos como os criptoativos. O CAPM, com seu beta único, não captura adequadamente riscos em mercados voláteis, ilíquidos e desconectados dos fatores tradicionais. Nesse contexto, o *Arbitrage Pricing Theory* (APT), proposto por Ross (1976), surge como alternativa mais robusta ao incorporar múltiplos fatores macroeconômicos, como: inflação, taxas de juros, volatilidade de mercado e choques de liquidez, oferecendo maior flexibilidade para modelar o comportamento de retorno de criptomoedas.

No caso do Bitcoin e de outros criptoativos, a combinação de alta volatilidade, baixa correlação histórica com classes convencionais e ausência de fundamentos tradicionais torna o CAPM particularmente ineficaz, reforçando a preferência por abordagens como APT ou extensões do modelo Fama-French (1992) para avaliações mais precisas e realistas. Além das limitações estruturais, a TMP assume investidores racionais, ignorando os fortes vieses comportamentais que dominam o mercado de criptoativos.

No âmbito regulatório, avanços recentes contribuem para mitigar esses riscos: nos Estados Unidos, a aprovação de ETFs *spot* de Bitcoin pela SEC em 2024 aumentou a legitimação institucional; na União Europeia, o regulamento MiCA (2023) estabeleceu padrões rigorosos de transparência e combate à lavagem de dinheiro. No Brasil, em novembro de 2025, as Resoluções BCB nº 519, 520 e 521 criaram as Sociedades Prestadoras de Serviços de Ativos Virtuais (SPSAVs), disciplinando sua autorização e integrando operações com criptoativos ao mercado de câmbio e capitais internacionais (Banco Central do Brasil, 2025a).

Método

O estudo se caracterizou como uma pesquisa aplicada quantitativa. É considerada aplicada por trabalhar com ativos reais passíveis de integrar carteiras de investimentos. Quanto à abordagem quantitativa, o estudo examinou o impacto da inclusão do Bitcoin em uma carteira de investimentos, bem como analisou indicadores de risco e retorno através de cálculos estatísticos. Segundo Silva et al. (2020), essa abordagem é adequada para estudos que exijam análise matemática para interpretar os resultados. A metodologia escolhida se baseou na Teoria do Portfólio de Markowitz, a partir de métricas como desvio padrão, correlação e índice de Sharp.

Para a modelagem matemática e cálculo das estatísticas, utilizaram-se dados dos sites *b3.com.br* e *investing.com* que fornecem séries históricas e dados secundários. Soares et al. (2022) reforça a importância da utilização desse tipo de dado para uma análise quantitativa pois trazem robustez e confiabilidade nos resultados.

Para selecionar os ativos que integraram a carteira de investimentos que foi investigada, foi utilizado o índice Bovespa (IBOV), composto pelas empresas de maior volume negocial na bolsa de valores em determinado período de tempo. A composição foi consultada no site da B3 – Brasil, Bolsa e Balcão (*b3.com.br*). Selecionaram-se 11 ações do índice com participação inferior a 4% e contemplando os seguintes setores econômicos: *comodity*, financeiro, energia, indústria, consumo e saneamento.

Embora a composição do IBOV seja atualizada a cada quatro meses, os ativos foram selecionados para representar uma carteira teórica diversificada por setores, utilizando seus dados históricos de preços ao longo do período analisado. Essa abordagem é comum em estudos de otimização de portfólios baseados na TMP, onde diferenças pontuais na composição do índice não afetam a validade das análises ilustrativas de risco-retorno, priorizando a

aplicação teórica sobre a replicação exata do índice (Kohatsu et al., 2023; Zanini & Figueiredo, 2005). Dessa forma foi possível fazer a seleção das empresas para construir a carteira. O Bitcoin (BTC) também foi incluído na análise.

Os dados de preços dos ativos foram consultados no *site investing.com* utilizando o valor de fechamento mensal no período de dezembro de 2014 a dezembro de 2024, contemplando um período de dois ciclos econômicos. Para a análise, foram considerados dois períodos principais: o primeiro, de cinco anos, compreende de 2020 a 2024, refletindo o forte impacto da pandemia de Covid-19 e a posterior recuperação econômica; o segundo corresponde ao horizonte total de 10 anos, de 2014 a 2024, englobando tanto o período pré-pandemia quanto o pós-pandemia. Após obtenção das cotações mensais, os dados foram organizados em uma planilha do Microsoft Excel.

Com os dados estruturados foram calculados os retornos mensais de cada ativo utilizando a metodologia de retornos contínuos, através da fórmula:

$$R_t = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right)$$

Onde R_t representa o retorno no período t , p_t é o preço do ativo no período t , p_{t-1} é o preço no período anterior. A opção por utilizar esse modelo de cálculo deve-se ao fato de que mensura melhor as variações dos preços os ativos quando comparado ao cálculo do retorno simples (Assaf, 2018).

A volatilidade ou risco dos ativos também foi calculada. A estatística utilizada foi o desvio padrão dos retornos, através da fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_t - \bar{R})^2}{n - 1}}$$

Onde σ representa o desvio padrão, R_t é o retorno no período t , $\bar{R}$ é o retorno médio e n é o número de períodos considerados. O desvio padrão indica a estabilidade dos retornos ao longo do período observado (Assaf, 2018).

Outro indicador essencial para a análise é a correlação entre os ativos, que foi calculada para todas as combinações entre as ações e o BTC, através da fórmula:

$$p_{xy} = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Onde p_{xy} representa o coeficiente de correlação entre as variáveis (ações) x e y , $cov(x, y)$ é a covariância entre as variáveis e σ_x e σ_y são os desvios padrão de x e y . Dessa forma, foi possível construir a matriz de correlação e posteriormente a matriz de covariância.

Com todos os elementos calculados, foi possível calcular a Carteiras de Mínimo Risco através da ferramenta Solver do Excel utilizando as seguintes regras:

- Definir objetivo: mínimo do risco (desvio padrão);
- O percentual de participação de cada ativo deve ser maior ou igual a 0%;
- A soma dos percentuais de participação de cada ativo deve ser 100%.

Para determinar a Carteira Ótima, foi calculado índice de Sharp (IS). O IS mede o retorno ajustado ao risco e possui a seguinte fórmula:

$$IS = \frac{R_p - R_f}{\sigma_p}$$

Onde IS representa o índice de Sharp, R_p é o retorno esperado da carteira, R_f é a taxa livre de risco e σ_p é o desvio padrão da carteira. Quando maximizamos o IS , identificamos a melhor alocação dos ativos, garantindo a melhor relação risco-retorno possível (Assaf, 2018). O cálculo da maximização do IS também foi realizado, através da ferramenta Solver através das seguintes regras:

- Definir objetivo: máximo do índice de Sharp;
- O percentual de participação de cada ativo deve ser maior ou igual a 0%;
- A soma dos percentuais de participação de cada ativo deve ser 100%.

Por fim, foi possível construir o gráfico de fronteira eficiente e com todas as informações calculadas, avaliar os impactos da inclusão do Bitcoin na carteira de investimentos, comparando as carteiras com e sem BTC em períodos de cinco e 10 anos.

Os retornos mensais foram calculados como retornos contínuos a partir dos preços de fechamento brutos (não ajustados por dividendos ou splits) obtidos no *investing.com*. Essa escolha segue a prática consolidada em estudos

sobre criptoativos em portfólios Markowitz (Brière et al., 2015; Platanakis & Urquhart, 2019), uma vez que a exclusão de dividendos afeta de forma semelhante as carteiras comparadas e não altera as conclusões sobre o impacto do Bitcoin na fronteira eficiente.

Para a etapa de coleta e tratamento de dados, utilizaram-se duas fontes principais. Os preços das ações selecionadas foram obtidos diretamente no *site investing.com*. Para cada ativo, acessou-se a página correspondente, selecionou-se a opção “Dados Históricos”, definiu-se a frequência “Mensal” e exportaram-se as cotações de fechamento do último dia útil de cada mês, contemplando o período de dezembro de 2014 a dezembro de 2024.

A taxa livre de risco, empregada no cálculo do índice de Sharpe, foi obtida no Banco Central do Brasil (2025b), por meio do histórico da taxa SELIC. Como o Bacen divulga a SELIC em períodos agregados, e não em formato mensal individualizado, realizou-se um ajuste para transformar as taxas em uma série mensal, atribuindo a cada mês o valor correspondente ao período vigente e convertendo-o para a mesma base temporal dos retornos mensais calculados para os ativos. Todas as séries de preços foram obtidas sem ocorrência de dados faltantes, uma vez que todos os ativos selecionados apresentaram cotação no último pregão de cada mês, ao longo de todo o período analisado. Após a coleta, os dados foram consolidados em planilha do Microsoft Excel, permitindo o cálculo dos retornos logarítmicos mensais, da volatilidade, da matriz de correlação e das matrizes de covariância utilizadas na etapa de otimização da carteira.

Foram realizadas análises de robustez, cujo objetivo foi avaliar a estabilidade e a confiabilidade dos achados principais relacionados à inclusão do Bitcoin nas carteiras otimizadas. O teste *out-of-sample* permite verificar se os benefícios observados não são restritos ao período de estimação, reduzindo o risco sobre ajuste do modelo. Para isso, os pesos estimados com base nos dados de 2014–2019 foram aplicados aos retornos observados entre 2020–2024. Os resultados indicam que a carteira que inclui Bitcoin mantém desempenho superior em termos de índice de Sharpe, quando comparada à carteira composta apenas por ativos tradicionais, evidenciando que os ganhos de diversificação persistem fora da amostra original.

Complementarmente, a análise de sensibilidade investigou como diferentes restrições ao peso máximo do Bitcoin afetam a eficiência da carteira, o que é fundamental para avaliar a viabilidade prática da alocação do ativo em diferentes perfis de risco. Os resultados mostram que, tanto no horizonte de cinco quanto no de 10 anos, mesmo com reduções progressivas na participação máxima do Bitcoin, o índice de Sharpe permanece consistentemente superior ao da carteira sem o ativo. Esse comportamento indica que a melhoria da relação risco-retorno, associada ao Bitcoin, é robusta e não depende de alocações excessivamente elevadas, mantendo-se válida sob diferentes cenários de modelagem e restrições de investimento.

Resultados

Para uma melhor compreensão, os resultados serão apresentados em cinco blocos, são eles: *estrutura das carteiras e panorama geral dos ativos*; *composição das carteiras otimizadas* (Sem Bitcoin); *composição das carteiras otimizadas* (Com Bitcoin); *fronteira eficiente e simulação de carteiras*; e *comparação com índices de mercado*. A continuação a descrição de cada subseção.

Estrutura das Carteiras e Panorama Geral dos Ativos

Esta seção apresenta os resultados obtidos através da análise da simulação entre duas carteiras de investimentos: uma estruturada apenas com ativos tradicionais da bolsa brasileira (B3) e outra composta dos mesmos ativos incluindo o Bitcoin. Foram avaliados os indicadores de média, desvio padrão (volatilidade), correlação, covariância, risco, retorno e índice de Sharp, em intervalos temporais de cinco e 10 anos, no qual abrangem dois ciclos econômicos que contêm crises fiscais e sanitárias. A finalidade foi identificar os efeitos da inclusão do Bitcoin na constituição da carteira sob as perspectivas dos indicadores já citados, principalmente risco e retorno. Com base nos resultados, é possível avaliar as implicações decorridas da diversificação com o Bitcoin e discutir os impactos nas estratégias de investidores e gestores de fundos.

Antes de avançar para a construção das carteiras otimizadas, apresenta-se, na Tabela 2, as principais estatísticas descritivas dos retornos mensais logarítmicos dos ativos analisados, bem como os resultados dos testes de normalidade de Jarque-Bera para os horizontes de cinco e 10 anos. Observa-se que o Bitcoin registra o maior retorno médio mensal em ambos os períodos (4,27% e 4,74%, respectivamente), acompanhado, contudo, da mais elevada volatilidade (18,90% e 20,15%). Entre as ações, PRIO3 destaca-se pelo elevado retorno, enquanto ABEV3 e EQTL3 exibem as menores volatilidades. Quanto à distribuição dos retornos, todos os ativos rejeitam a hipótese de normalidade ($p\text{-value} < 0,05$), apresentando assimetria e/ou curtose excessiva, característica comum em séries financeiras e especialmente pronunciada no Bitcoin e em ativos cíclicos, como PRIO3 e RENT3. Essa evidência reforça a necessidade de cautela na interpretação estrita dos resultados de otimização *mean-variance*, embora não impeça a aplicação prática da Teoria de Markowitz, conforme amplamente discutido na literatura contemporânea.

Tabela 2

Estatísticas Descritivas e Testes de Normalidade dos Retornos Mensais dos Ativos (Períodos de 5 e 10 Anos)

Período de 5 anos

Ativo	n	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	Jarque-Bera	p-value
JBSS3	60	0,96%	8,81%	0,77%	-19,46%	20,73%	0,15	-0,29	27,37	0,01
PRI03	60	3,01%	18,40%	1,80%	-86,01%	47,20%	-1,45	8,50	96,65	0,01
BBAS3	60	0,51%	10,15%	-0,55%	-51,44%	16,66%	-2,18	10,93	204,69	0,01
BBDC4	60	-1,22%	10,53%	-2,08%	-38,42%	22,84%	-0,39	1,78	5,25	0,01
ELET3	60	0,06%	10,56%	1,14%	-36,99%	21,63%	-0,62	1,60	8,80	0,01
EQTL3	60	0,46%	8,32%	0,72%	-33,68%	21,05%	-0,87	3,84	9,35	0,01
SBSP3	60	0,78%	10,53%	0,82%	-40,70%	30,41%	-0,64	3,76	5,53	0,01
WEGE3	60	1,97%	10,01%	1,31%	-25,01%	28,77%	0,10	0,48	15,97	0,01
EMBR3	60	1,74%	14,91%	0,59%	-57,54%	33,03%	-0,65	3,03	4,29	0,01
ABEV3	60	-0,49%	7,32%	-1,98%	-20,52%	18,39%	0,08	1,06	9,43	0,01
RENT3	60	-0,48%	12,93%	0,25%	-63,08%	26,25%	-1,72	7,87	89,07	0,01
BTC	60	4,27%	18,90%	3,41%	-46,72%	38,50%	-0,28	0,06	22,41	0,01

Período de 10 anos

Ativo	n	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose	Jarque-Bera	p-value
JBSS3	120	1,23%	10,37%	0,89%	-23,91%	26,36%	-0,02	-0,36	56,31	0,01
PRI03	120	3,72%	19,27%	2,89%	-86,01%	69,31%	-0,61	4,35	16,60	0,01
BBAS3	120	1,14%	11,31%	-0,21%	-51,44%	38,89%	-0,37	4,58	15,25	0,01
BBDC4	120	0,16%	9,90%	-0,18%	-38,42%	23,88%	-0,21	1,18	17,53	0,01
ELET3	120	1,61%	14,06%	1,71%	-36,99%	47,42%	0,54	1,32	19,89	0,01
EQTL3	120	1,48%	7,42%	1,57%	-33,68%	21,05%	-0,80	3,48	14,01	0,01
SBSP3	120	1,55%	10,35%	2,57%	-40,70%	31,98%	-0,51	2,82	5,34	0,01
WEGE3	120	1,97%	8,55%	2,32%	-25,01%	28,77%	0,01	0,82	23,86	0,01
EMBR3	120	0,72%	12,25%	-0,19%	-57,54%	33,03%	-0,48	3,95	9,10	0,01
ABEV3	120	0,00%	6,55%	-0,65%	-20,52%	18,39%	-0,15	1,08	18,88	0,01
RENT3	120	1,06%	11,20%	2,25%	-63,08%	26,25%	-1,48	8,00	168,93	0,01
BTC	120	4,74%	20,15%	4,57%	-46,72%	53,28%	-0,08	0,07	43,17	0,01

Com os dados organizados, foi possível resumir os resultados de cada ativo, avaliando o retorno médio mensal e o desvio padrão (volatilidade) nos períodos de 5 e 10 anos, conforme Tabela 3.

Tabela 3

Retorno e desvio padrão

Ativo	Contagem	Retorno médio Mensal 5 anos	Desvio Padrão 5 anos	Retorno Médio mensal 10 anos	Desvio Padrão 10 anos
JBSS3	121	0,96%	8,81%	1,23%	10,37%
PRI03	121	3,01%	18,40%	3,72%	19,27%
BBAS3	121	0,51%	10,15%	1,14%	11,31%
BBDC4	121	-1,22%	10,53%	0,16%	9,90%
ELET3	121	0,06%	10,56%	1,61%	14,06%
EQTL3	121	0,46%	8,32%	1,48%	7,42%
SBSP3	121	0,78%	10,53%	1,55%	10,35%
WEGE3	121	1,97%	10,01%	1,97%	8,55%
EMBR3	121	1,74%	14,91%	0,72%	12,25%
ABEV3	121	-0,49%	7,32%	0,00%	6,55%
RENT3	121	-0,48%	12,93%	1,06%	11,20%
Bitcoin	121	4,27%	18,90%	4,74%	20,15%

Análise do Retorno e Volatilidade dos Ativos

O Bitcoin foi o ativo que obteve o melhor retorno em ambos os períodos, mas também com a maior volatilidade, evidenciando sua natureza de alta oscilação (Chen, 2023). Destaca-se também a ação PRIO3 por possuir uma volatilidade comparável ao Bitcoin, porém com retornos inferiores.

Analisando os ativos de menor volatilidade, observamos alterações nos períodos. No horizonte de cinco anos, os menores foram ABEV3 (7,32%), EQTL3 (8,32%) e JBSS3 (8,81%). Já no período de 10 anos, ABEV3 (6,55%) e EQTL3 (7,42%) mantiveram a posição, no entanto WEGE3 (8,55%) assumiu a posição de JBSS3 (10,37%). Alguns fatores podem estar relacionados com essa mudança como ciclos econômicos, variação cambial e custos dos insumos que afetam empresas de *commodities*. Por outro lado, WEGE3 consolidou-se como uma empresa sólida oferecendo retornos médios próximos de 2% a.m.

Análise da Correlação e Covariância dos Ativos

A Tabela 4 e a Tabela 5 representam as matrizes de correlação entre os ativos, os quais permitem analisar a interação mútua dos ativos. Esse critério de avaliação é de caráter essencial e presente na Teoria Moderna do Portfólio, visto que revelam o movimento dos ativos financeiros. Correlações positivas mostram um movimento conjunto e correlações negativas demonstram movimentos opostos ou independentes.

Tabela 4

Correlação entre os ativos no período de 5 anos

	JBSS3	PRIO3	BBAS3	BBDC4	ELET3	EQTL3	SBSP3	WEGE3	EMBR3	ABEV3	RENT3	Bitcoin
JBSS3	1,00											
PRIO3	0,34	1,00										
BBAS3	0,14	0,57	1,00									
BBDC4	0,22	0,48	0,72	1,00								
ELET3	0,21	0,60	0,53	0,55	1,00							
EQTL3	0,23	0,61	0,62	0,66	0,58	1,00						
SBSP3	0,19	0,56	0,49	0,48	0,56	0,72	1,00					
WEGE3	0,09	0,34	0,13	0,28	0,35	0,50	0,41	1,00				
EMBR3	0,31	0,45	0,33	0,33	0,31	0,32	0,34	0,17	1,00			
ABEV3	0,21	0,44	0,54	0,63	0,44	0,55	0,48	0,19	0,38	1,00		
RENT3	0,16	0,61	0,65	0,66	0,58	0,67	0,62	0,52	0,26	0,37	1,00	
Bitcoin	0,37	0,37	0,20	0,15	0,08	0,27	0,15	0,24	0,33	0,21	0,26	1,00

Tabela 5

Correlação entre os ativos no período de 10 anos

	JBSS3	PRIO3	BBAS3	BBDC4	ELET3	EQTL3	SBSP3	WEGE3	EMBR3	ABEV3	RENT3	Bitcoin
VALE3	1,00											
PETR4	0,12	1,00										
ITUB4	0,06	0,50	1,00									
BBAS3	0,15	0,44	0,78	1,00								
ELET3	0,23	0,27	0,57	0,55	1,00							
EQTL3	0,20	0,41	0,57	0,65	0,53	1,00						
SBSP3	0,12	0,37	0,46	0,49	0,49	0,71	1,00					
WEGE3	0,05	0,27	0,15	0,23	0,19	0,38	0,31	1,00				
EMBR3	0,18	0,24	0,15	0,18	0,03	0,19	0,22	0,09	1,00			
ABEV3	0,18	0,25	0,35	0,49	0,26	0,44	0,40	0,30	0,23	1,00		
RENT3	0,17	0,49	0,60	0,65	0,46	0,61	0,52	0,42	0,16	0,34	1,00	
Bitcoin	0,10	0,28	0,06	0,09	0,09	0,19	0,16	0,17	0,23	0,07	0,20	1,00

Nos dois períodos avaliados, o Bitcoin apresentou baixa correlação com as outras ações, com valores variando: 5 anos: de 0,08 (ELET3) até 0,37 (JBSS3 e PRIO3) 10 anos: de 0,06 (BBAS3) até 0,28 (PRIO3)

Esses patamares são considerados baixos, sinalizando que o movimento do Bitcoin não segue os demais papéis selecionados. Em outras palavras, quando as ações sobem ou caem, o Bitcoin não necessariamente segue o mesmo movimento. Essa característica auxilia a estabilizar a carteira de investimentos, posto que oscilações acentuadas de outros ativos são suavizadas pelo Bitcoin, melhorando o risco-retorno da carteira.

Outro indicador que contribuiu para o entendimento das relações entre os ativos é a covariância. As Tabela 6 e Tabela 7 apresentam os valores de covariância.

Tabela 6

Covariância entre os ativos no período de 5 anos

	JBSS3	PRIO3	BBAS3	BBDC4	ELET3	EQTL3	SBSP3	WEGE3	EMBR3	ABEV3	RENT3	Bitcoin
JBSS3	0,0078											
PRIO3	0,0055	0,0338										
BBAS3	0,0013	0,0107	0,0103									
BBDC4	0,0020	0,0094	0,0077	0,0111								
ELET3	0,0019	0,0116	0,0057	0,0061	0,0111							
EQTL3	0,0017	0,0093	0,0052	0,0058	0,0051	0,0069						
SBSP3	0,0017	0,0109	0,0053	0,0053	0,0062	0,0063	0,0111					
WEGE3	0,0008	0,0062	0,0013	0,0030	0,0037	0,0041	0,0043	0,0100				
EMBR3	0,0040	0,0123	0,0049	0,0051	0,0049	0,0039	0,0054	0,0026	0,0222			
ABEV3	0,0013	0,0059	0,0040	0,0049	0,0034	0,0034	0,0037	0,0014	0,0042	0,0054		
RENT3	0,0018	0,0145	0,0085	0,0089	0,0080	0,0072	0,0084	0,0068	0,0050	0,0035	0,0167	
Bitcoin	0,0061	0,0130	0,0038	0,0030	0,0015	0,0043	0,0030	0,0046	0,0094	0,0029	0,0064	0,0357

Tabela 7

Covariância entre os ativos no período de 10 anos

	JBSS3	PRIO3	BBAS3	BBDC4	ELET3	EQTL3	SBSP3	WEGE3	EMBR3	ABEV3	RENT3	Bitcoin
JBSS3	0,0108											
PRIO3	0,0024	0,0371										
BBAS3	0,0007	0,0110	0,0128									
BBDC4	0,0016	0,0085	0,0087	0,0098								
ELET3	0,0033	0,0072	0,0091	0,0076	0,0198							
EQTL3	0,0015	0,0058	0,0048	0,0048	0,0055	0,0055						
SBSP3	0,0013	0,0074	0,0054	0,0050	0,0071	0,0054	0,0107					
WEGE3	0,0005	0,0045	0,0015	0,0019	0,0022	0,0024	0,0027	0,0073				
EMBR3	0,0023	0,0056	0,0021	0,0021	0,0006	0,0017	0,0028	0,0009	0,0150			
ABEV3	0,0012	0,0031	0,0026	0,0032	0,0024	0,0022	0,0027	0,0017	0,0018	0,0043		
RENT3	0,0019	0,0105	0,0076	0,0072	0,0073	0,0051	0,0060	0,0040	0,0022	0,0025	0,0125	
Bitcoin	0,0021	0,0108	0,0014	0,0018	0,0025	0,0029	0,0033	0,0029	0,0057	0,0009	0,0044	0,0406

Para analisar a matriz de covariância, é primordial compreender como os ativos se comportam conjuntamente. Assim como na correlação, covariâncias positivas indicam um movimento em um mesmo sentido e negativas em sentidos opostos. Entretanto, a escala também é condicionada pela volatilidade dos ativos. O Bitcoin, por ser altamente volátil, possui covariância elevada com alguns ativos, mesmo com baixas correlações.

Dentre os ativos, JBSS3 se destaca por possuir as menores covariâncias em relação aos outros papéis em ambos os períodos. Por ser uma exportadora de *commodities* de alimentação, possui uma dinâmica diferente em relação às outras empresas, principalmente o setor financeiro e de consumo, resultando em covariâncias de menor intensidade. Por outro lado, PRIO3 concentra os maiores valores nos dois períodos, resultado de sua alta volatilidade.

Avaliando o Bitcoin, observa-se que os valores possuem uma grande amplitude, variando de 0,0015 (com ELET3) até 0,0130 (com PRIO3), em cinco anos, e de 0,009 (com ABEV3) até 0,0108 (com PRIO3), no período

de análise de 10 anos. Esse comportamento contribui com a relação risco-retorno quando a correlação é baixa e a covariância é alta, contribuindo para a melhora do índice de Sharp. Entretanto, quando a correlação permanece em níveis elevados e a covariância também é alta, eleva-se o nível de risco sem gerar ganhos da mesma proporção.

Composição das Carteiras Otimizadas (Sem Bitcoin)

Interpretar as relações entre os ativos e seus comportamentos é essencial para a construção de carteiras de investimentos eficientes. A análise desses indicadores permite a melhor compreensão da relação risco-retorno, finalidade central da Teoria Moderna do Portfólio. A partir da análise detalhada da volatilidade, correlação e covariância, torna-se possível avançar para a etapa prática de alocação dos ativos. Para obter a composição das carteiras de que minimizam o risco e maximizam o índice de Sharp (IS), utilizou-se a ferramenta Solver do Microsoft Excel. Já para o cálculo do IS, foi utilizado a taxa Selic média de 8,875% e 9,45625%, nos períodos de cinco e 10 anos, respectivamente. Os resultados, sem a presença do Bitcoin para os horizontes de cinco e 10 anos, estão presentes nas Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8

Composição das carteiras sem o Bitcoin no período de 5 anos

Ativos	Carteira de mínimo risco	Carteira ótima
JBSS3	30,0%	0,0%
PRI03	0,0%	25,9%
BBAS3	8,6%	0,0%
BBDC4	0,0%	0,0%
ELET3	0,0%	0,0%
EQTL3	0,0%	0,0%
SBSP3	0,0%	0,0%
WEGE3	22,4%	62,2%
EMBR3	0,0%	11,9%
ABEV3	39,0%	0,0%
RENT3	0,0%	0,0%

Tabela 9

Composição das carteiras sem o Bitcoin no período de 10 anos

Ativos	Carteira de mínimo risco	Carteira ótima
JBSS3	15,8%	11,1%
PRI03	0,0%	29,1%
BBAS3	3,2%	0,0%
BBDC4	0,0%	0,0%
ELET3	0,0%	0,9%
EQTL3	15,8%	0,9%
SBSP3	0,0%	0,0%
WEGE3	20,5%	58,0%
EMBR3	7,5%	0,0%
ABEV3	37,2%	0,0%
RENT3	0,0%	0,0%

Observando os resultados na carteira de mínimo risco, no horizonte de cinco anos, ressaltam-se JBSS3, WEGE3 e ABEV3. Esse resultado é consistente com os indicadores previamente analisados, pois JBSS3 e ABEV3 apresentam as menores covariâncias (0,0078 e 0,0054, nessa ordem), além de baixas correlações, fazendo com que a volatilidade da carteira se reduza. WEGE3, apesar de possuir volatilidade superior (10,01%), apresenta correlação baixa com os demais ativos, reforçando seu papel de reduzir o risco geral da carteira.

No período de 10 anos, a carteira que minimiza o risco passou a incluir o ativo EQTL3. Justifica-se sua entrada por apresentar baixa volatilidade (7,42%) e também baixa covariância em relação a JBSS3, WEGE3 e ABEV3 (0,0015, 0,0022 e 0,0024, respectivamente).

Nas carteiras ótimas, em ambos os períodos, PRIO3 e WEGE3 desempenharam papéis de proeminência. Fundamenta-se a presença de PRIO3 diretamente pelo seu retorno em patamares elevados (3,01% e 3,72% em cinco e 10 anos). Mesmo possuindo alta volatilidade (19,27%), o retorno supera proporcionalmente o impacto no risco. Por outro lado, WEGE3 mostra retornos mais moderados (1,97% em ambos os períodos), porém com volatilidade que equilibra o risco da carteira, maximizando o índice de Sharpe.

A Tabela 10 apresenta os resultados para o intervalo de cinco anos. Observa-se o menor nível de volatilidade do estudo, efeito da inclusão de ativos mais defensivos. O retorno esperado reflete a escolha por maior estabilidade na carteira de mínimo risco, apresentando-se de forma mais moderado. Na carteira ótima, observa-se um salto no retorno, resultado da inclusão de papéis mais agressivos. O risco também acompanhou o movimento, porém em um patamar mais baixo, fruto da maximização do índice de Sharp, que busca a melhor relação risco-retorno.

Tabela 10

Resultados da composição da carteira sem Bitcoin no período de 5 anos

	Carteira de mínimo risco	Carteira ótima
Retorno	0,6%	2,2%
Risco	5,6%	9,8%

Os resultados do ciclo de 10 anos podem ser observados na Tabela 11. As carteiras de mínimo risco e ótima apresentaram resultados próximos da simulação de cinco anos.

Tabela 11

Resultados da composição da carteira sem Bitcoin no período de 10 anos

	Carteira de mínimo risco	Carteira ótima
Retorno	0,9%	2,4%
Risco	5,2%	8,7%

Composição das carteiras otimizadas – Com Bitcoin

Na sequência, foi introduzido o Bitcoin nos cálculos de formação das carteiras, novamente considerando os intervalos de cinco e 10 anos. As Tabelas 12 e Tabela 13 apresentam os resultados obtidos, permitindo observar as alterações nas proporções dos ativos.

Tabela 12

Composição das carteiras com o Bitcoin no período de 5 anos

Ativos	Carteira de mínimo risco	Carteira ótima
JBSS3	30,0%	0,0%
PRIO3	0,0%	12,9%
BBAS3	8,6%	0,0%
BBDC4	0,0%	0,0%
ELET3	0,0%	0,0%
EQTL3	0,0%	0,0%
SBSP3	0,0%	0,0%
WEGE3	22,4%	41,3%
EMBR3	0,0%	0,0%
ABEV3	39,0%	0,0%
RENT3	0,0%	0,0%
Bitcoin	0,0%	45,8%

Tabela 13*Composição das carteiras com o Bitcoin no período de 10 anos*

Ativos	Carteira de mínimo risco	Carteira ótima
JBSS3	15,6%	5,8%
PRI03	0,0%	17,4%
BBAS3	3,4%	0,0%
BBDC4	0,0%	0,0%
ELET3	0,0%	0,8%
EQTL3	15,1%	0,8%
SBSP3	0,0%	0,0%
WEGE3	20,0%	43,3%
EMBR3	7,0%	0,0%
ABEV3	37,4%	0,0%
RENT3	0,0%	0,0%
Bitcoin	1,4%	31,9%

Mesmo com a inclusão do Bitcoin na simulação, no período de cinco anos, ele não passou a compor a carteira de mínimo risco. Esse cenário justifica-se pela alta volatilidade do Bitcoin (18,9%) frente aos outros ativos. Já no horizonte de 10 anos, observa-se a integração do Bitcoin, mesmo com baixa participação (1,4%). Esse resultado pode ser explicado pelas baixas correlações e covariâncias em relação aos outros papéis no longo prazo, permitindo que o Bitcoin ofereça um benefício marginal de diversificação. Sua presença demonstra que ativos de alto risco, em algumas situações, podem contribuir para a redução do risco geral de uma carteira quando suas relações estatísticas são suficientemente baixas.

Nas carteiras ótimas, em ambos os períodos, o Bitcoin destaca-se ao lado de PRI03 e WEGE3. Sua presença reflete seu acentuado retorno médio (acima de 4% a.m. nos períodos), que, apesar de sua alta volatilidade, quando combinado com ativos mais equilibrados, maximizam o índice de Sharp. Na combinação, WEGE3 mantém sua função de estabilizar o risco geral, e PRI03 permanece contribuindo com seu elevado retorno. Tal resultado fortalece o papel significativo de ativos com baixa correlação no momento de montagem de carteiras de investimentos diversificadas e coloca em destaque o Bitcoin como alternativa para otimizar o risco-retorno. A Tabela 14 e Tabela 15 apresentam os resultados finais.

Tabela 14*Resultados da composição da carteira com Bitcoin no período de 5 anos*

	Carteira de mínimo risco	Carteira ótima
Retorno	0,6%	3,2%
Risco	5,6%	11,7%

Tabela 15*Resultados da composição da carteira com Bitcoin no período de 10 anos*

	Carteira de mínimo risco	Carteira ótima
Retorno	1,0%	3,1%
Risco	5,2%	9,8%

No curto prazo, o fato de o Bitcoin não integrar a carteira de mínimo risco resultou em retorno e risco iguais ao da simulação anterior. Já a carteira ótima obteve resultados expressivos. Embora tenha havido um aumento do risco geral, o incremento do retorno foi proporcionalmente maior. Analisando o horizonte de 10 anos, a pequena presença do Bitcoin elevou levemente o retorno sem afetar o risco. A carteira ótima apresentou retornos similares ao curto prazo, porém com risco menor.

Fronteira Eficiente e Simulação de Carteiras

Com as carteiras de mínimo risco e ótimas calculadas, bem como as análises concluídas, foi possível avançar para o estágio de simulação de cenários e construção das fronteiras eficientes. Essa etapa objetivou analisar como diferentes combinações entre as carteiras produzem efeito sobre a relação risco-retorno, dando condições de reconhecer os pontos de maior eficiência.

As tabelas de simulação foram construídas ao combinar as carteiras previamente calculadas em diferentes proporções nos dois horizontes temporais, variando de 0% a 100% para cada uma. A coluna “% mín. risco” sinaliza o percentual alocado na carteira de menor volatilidade, e a coluna “% ótima” apresenta o percentual direcionado à carteira que maximiza o índice de Sharpe. As colunas subsequentes apresentam os percentuais de cada ativo resultante da combinação das carteiras, calculados como sendo a soma da multiplicação das alocações das carteiras mínimas e ótimas pelo percentual de cada ativo (Tabela 9 e Tabela 10). Por último, as colunas “Retorno” e “Risco” evidenciam os resultados projetados de cada cenário.

As simulações permitiram traçar os gráficos das curvas de fronteira eficiente para os horizontes de 5 e 10 anos, destacando visualmente as diferenças de resultados. A Figura 3 e a Figura 4 representam os resultados. Verifica-se que os formatos obtidos nas simulações seguem o comportamento teórico previsto por Markowitz, onde a fronteira se descola à medida que a relação risco-retorno é otimizada. Essa consistência entre os resultados empíricos e o modelo teórico sustenta o uso prático da Teoria Moderna do Portfólio, mesmo no panorama contemporâneo, como o uso de instrumentos digitais de natureza não convencional.

Constata-se que, no curto prazo (cinco anos), a inclusão do Bitcoin como alternativa de compor uma carteira deslocou a fronteira eficiente para cima, aumentando o retorno esperado na maior parte dos níveis de risco. Esse reflexo indica que o Bitcoin, mesmo com volatilidade elevada e aliada a outros ativos que auxiliam a equilibrar a carteira, contribui de forma positiva para melhorar o desempenho ajustado ao risco.

No longo prazo (10 anos), o mesmo efeito pode ser observado, porém com mais intensidade, apontando que estratégias mais longas tendem a se beneficiar mais com a introdução do Bitcoin. Esse efeito pode ser relacionado aos consistentes retornos no longo prazo e à baixa correlação com outros ativos.

Figura 3

Fronteira eficiente no período de 5 anos

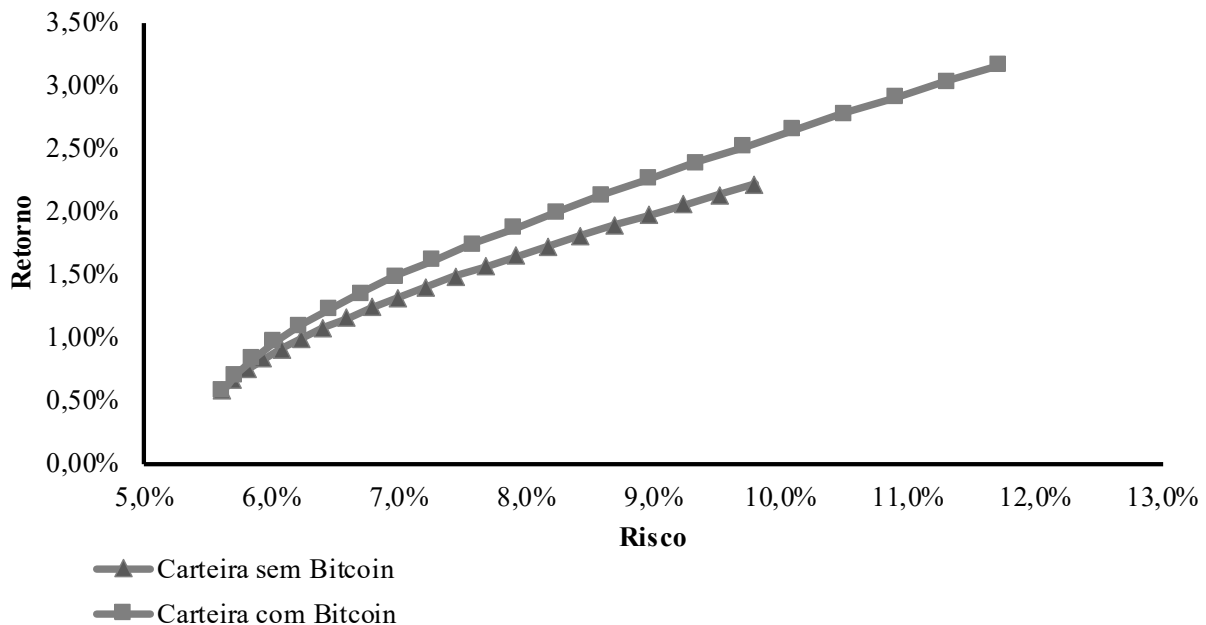
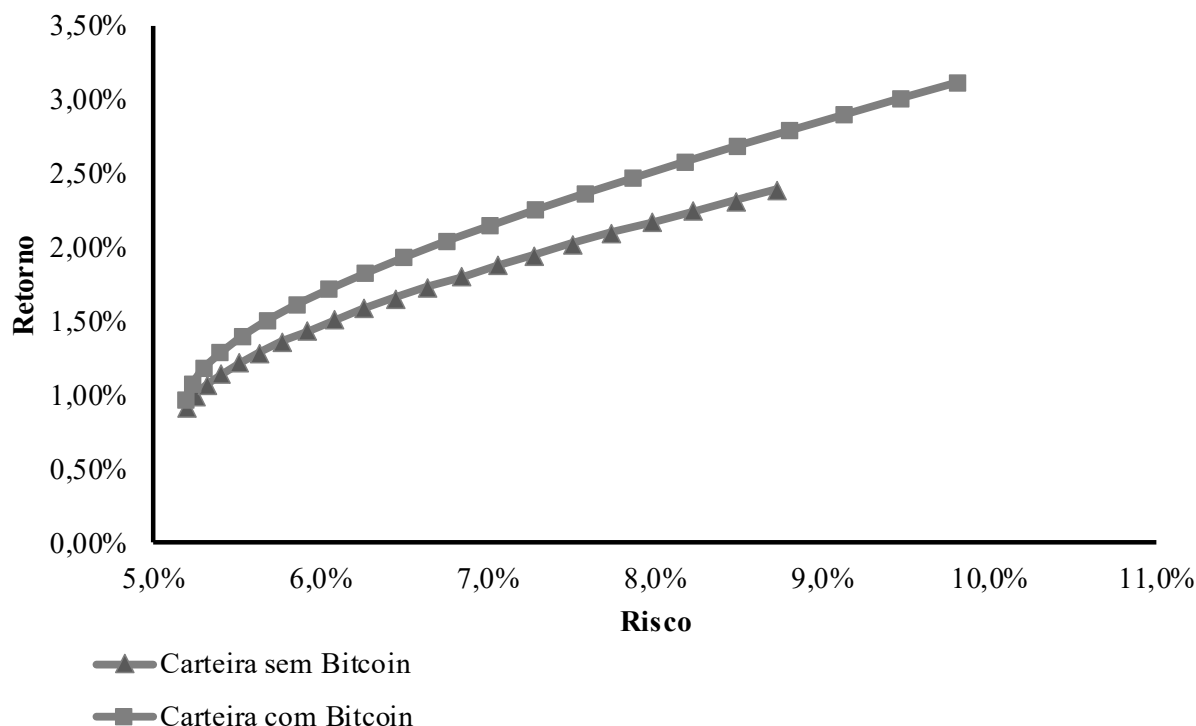


Figura 4

Fronteira eficiente no período de 10 anos



Para avaliar a robustez dos achados principais, realizaram-se dois exercícios complementares cujos resultados são sintetizados na Tabela 16 e descritos a seguir. Primeiro, aplicaram-se os pesos ótimos estimados no período 2014 a 2019 aos retornos efetivos de 2020 a 2024 (teste *out-of-sample*). A carteira com Bitcoin manteve o índice de Sharpe superior à carteira exclusivamente tradicional, indicando que os benefícios de diversificação não se restringem ao período de estimação. Em seguida, testou-se a sensibilidade da carteira ótima a restrições crescentes no peso máximo do Bitcoin (45,79% → 10%). Mesmo com limitações severas de alocação, o índice de Sharpe permaneceu sistematicamente superior ao da carteira sem o criptoativo em ambos os horizontes temporais, evidenciando que ganhos de eficiência são obtidos mesmo com exposições moderadas (10–20%), mais realistas para a maioria dos perfis de investidores brasileiros.

Tabela 16

Análise de Sensibilidade da Carteira: Variação do Limite Máximo de Alocação em Bitcoin e Impacto no Índice de Sharpe (5 e 10 Anos)

Período de 5 anos

Cenário	% de Bitcoin	Índice de Sharp
Carteira ótima	45,79%	20,92%
1	35,00%	20,68%
2	30,00%	20,37%
3	25,00%	19,92%
4	20,00%	19,31%

Período de 10 anos

Cenário	% de Bitcoin	Índice de Sharp
Carteira ótima	31,88%	24,01%
1	25,00%	23,85%
2	20,00%	23,47%
3	15,00%	22,78%
4	10,00%	21,70%

Comparação com Índices de Mercado

Por último, conseguimos comparar o resultado das carteiras com os seguintes índices:

- IBOV (Ibovespa): principal índice brasileiro da bolsa, composto das principais ações com maior liquidez e representatividade do mercado;
- IDIV (índice de dividendos): mede o desempenho das principais empresas pagadoras de dividendos;
- ISE (índice de sustentabilidade empresarial): reflete o desempenho das principais empresas comprometidas com práticas ESG;
- IEE (índice de energia elétrica): acompanha o desempenho médio das ações de empresas do setor de energia elétrica;
- IMAT (índice de materiais básicos): mede o desempenho das empresas do setor de materiais básicos, como papel e celulose, mineração e siderurgia.

Os resultados de Retorno e Risco de cada índice podem ser observados nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17

Resultados de Retorno e Risco dos Índices – 5 anos

Índice	Retorno	Risco
IBOV	0,1%	7,3%
IDIV	0,4%	6,2%
ISE	-0,5%	7,6%
IEE	0,0%	6,0%
IMAT	0,7%	7,5%

Tabela 18

Resultados de Retorno e Risco dos Índices – 10 anos

Índice	Retorno	Risco
IBOV	0,7%	6,6%
IDIV	1,0%	6,6%
ISE	0,2%	6,4%
IEE	0,9%	6,0%
IMAT	1,2%	7,6%

Comparando os resultados dos índices com as fronteiras eficientes, em ambos os períodos, observa-se que a carteira que minimiza o risco apresentou risco inferior (5% a 5,6%) em relação a todos os índices (6% a 7,6%). Ao analisar o retorno, a carteira apresentou resultados modestos (0,58% a 0,97%), inferior ao índice IMAT.

A carteira ótima por sua vez, apresentou resultados superiores em termos de retorno, apesar de maior volatilidade. Os retornos ficaram acima dos 2% a.m., sem a presença do Bitcoin, e acima de 3% a.m., com a inclusão do ativo digital. As Figuras 5 e 6 representam a comparação gráfica dos resultados das fronteiras eficientes e dos índices.

Figura 5

Fronteira eficiente x índices – 5 anos

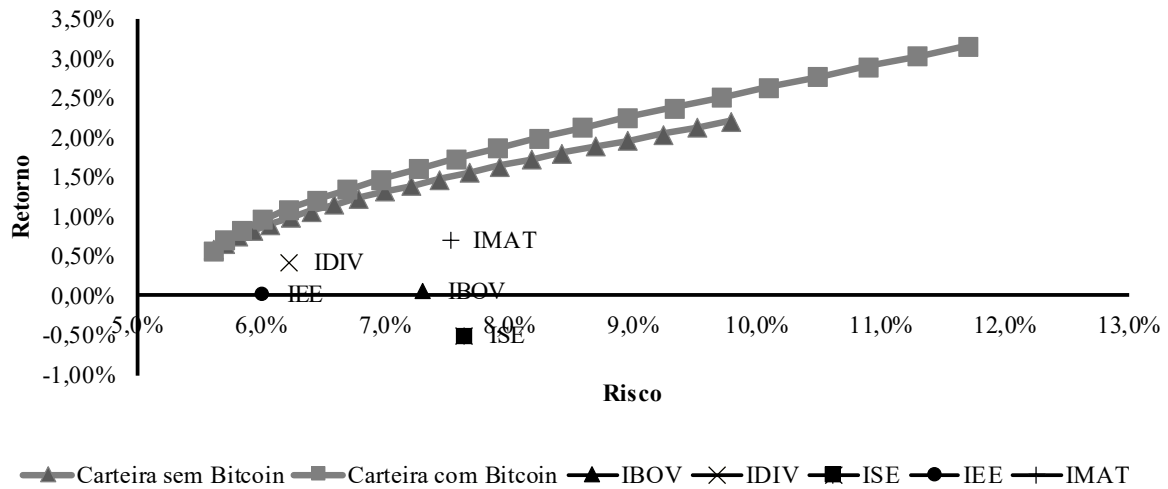
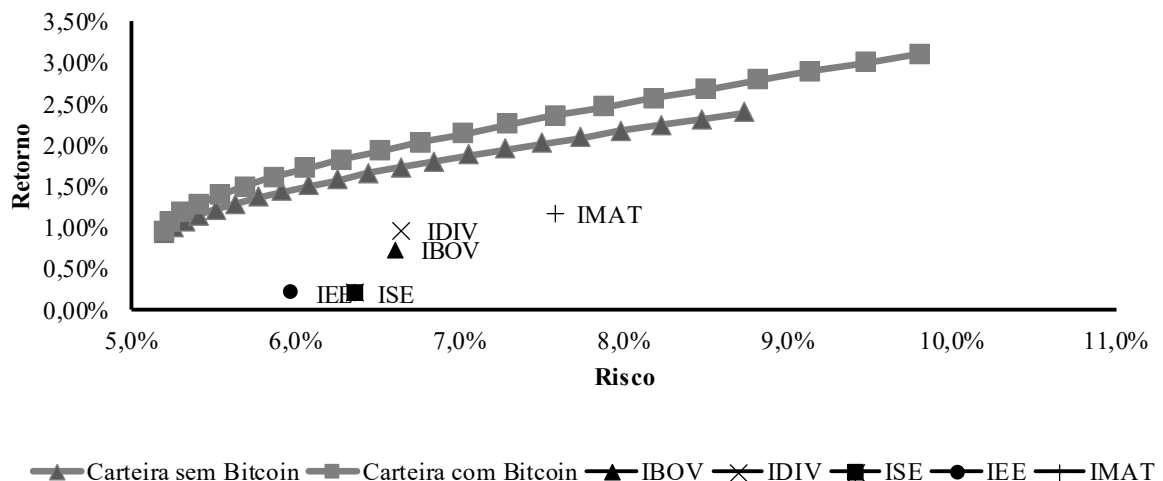


Figura 6

Fronteira eficiente x índices – 10 anos



Nota-se que, apesar de alguns índices apresentarem resultados de risco e/ou retorno melhores, eles ficam fora da curva de fronteira eficiente, demonstrando a importância da otimização da composição dos ativos e na relação risco-retorno.

Conclusões

Os resultados deste estudo confirmam que a inclusão do Bitcoin em carteiras com ativos tradicionais melhora a relação risco-retorno, conforme a Teoria Moderna do Portfólio (TMP). A baixa correlação do Bitcoin com ativos da B3, apesar de sua alta volatilidade, desloca a fronteira eficiente para cima, promovendo combinações otimizadas de risco e retorno, como apontam Neves e Silva (2017) e Kohatsu et al. (2023).

A natureza descentralizada do Bitcoin, independente de ciclos econômicos, reforça seu papel como instrumento de diversificação, especialmente em carteiras ótimas com ativos como WEGE3 e PRIO3, maximizando o índice de Sharpe (Oliveira et al., 2020). No longo prazo, em horizontes de cinco e 10 anos, sua baixa correlação e retornos consistentes ampliam sua contribuição positiva, conforme Kohatsu et al. (2023) e Pakes et al. (2022).

Contribuições a Literatura

Este estudo contribui para o avanço da literatura financeira ao confirmar, com base em dados empíricos, a aplicabilidade da Teoria Moderna do Portfólio na era dos ativos digitais. Os resultados sustentam que a inclusão do Bitcoin pode aumentar a eficiência de carteiras por meio da redução do risco não sistemático, conforme apontado por autores como Neves e Silva (2017), Kohatsu et al. (2023) e Batista & Alves (2021). A evidência do deslocamento da fronteira eficiente com a inclusão de ativos de baixa correlação demonstra a validade das premissas da TMP mesmo em contextos de alta inovação financeira.

A literatura tradicional frequentemente negligenciou os criptoativos, focando em ativos como ações, renda fixa e fundos imobiliários (Gonçalves et al., 2024; Zanini & Figueiredo, 2005). Ao integrar o Bitcoin, o presente estudo responde a uma lacuna relevante destacada por Pakes et al. (2022), ao demonstrar que a alocação controlada de ativos digitais não apenas é possível, mas vantajosa em termos de otimização da relação risco-retorno.

Outra contribuição importante consiste na análise empírica do comportamento do Bitcoin ao longo de dois horizontes temporais distintos. Ao verificar que seu impacto positivo na eficiência das carteiras é mais acentuado no longo prazo, a pesquisa reforça os argumentos de Ferreira-Schenk e Dickason-Koekemoer (2023) sobre a consistência do retorno de ativos digitais em cenários macroeconômicos instáveis, como a pandemia da Covid-19.

Contribuições Gerenciais

Do ponto de vista gerencial, os resultados do estudo fornecem subsídios práticos relevantes para gestores de carteiras, planejadores financeiros e investidores institucionais. Em primeiro lugar, ao demonstrar que a inclusão do Bitcoin em carteiras de ações melhora a eficiência da alocação, o estudo oferece um argumento sólido para a incorporação de criptoativos em estratégias diversificadas de investimento.

Em conformidade com a literatura (Batista & Alves, 2021; Oliveira et al., 2020), os resultados indicam que o Bitcoin pode funcionar como um instrumento de diversificação, devido à sua baixa correlação com os ativos da bolsa brasileira, reduzindo o risco não sistemático. Isso se revela ainda mais significativo no longo prazo, quando os efeitos de suavização de volatilidade se tornam mais evidentes, conforme sustentam Kohatsu et al. (2023).

Outro aspecto gerencial relevante refere-se à possibilidade de construção de carteiras customizadas. A simulação de cenários com carteiras de mínimo risco e carteiras ótimas oferece aos gestores maior flexibilidade para atender a diferentes perfis de risco, que vão de investidores conservadores a arrojados. A abordagem quantitativa apresentada neste estudo serve como guia para decisões informadas, alinhando objetivos de retorno com tolerância a risco.

Limitações e Sugestões de Futuros Estudos

Apesar dos resultados obtidos, este estudo apresenta algumas limitações que precisam ser consideradas. A primeira está relacionada às premissas da Teoria Moderna do Portfólio, que assume retornos normalmente distribuídos e utiliza a variância como medida completa de risco. As análises estatísticas mostraram que os ativos possuem assimetria e curtose elevadas, indicando distribuições que não seguem o padrão normal. Isso significa que eventos extremos podem ocorrer com maior frequência do que o modelo prevê. Outra limitação envolve a estabilidade dos parâmetros, principalmente das matrizes de correlação e covariância. Esses parâmetros variam ao longo do tempo e são sensíveis ao período escolhido para análise. Por isso, os pesos das carteiras refletem o comportamento do passado e não garantem que permaneçam adequados em cenários futuros.

Também é importante mencionar que o estudo utilizou dados históricos e uma taxa livre de risco média para cada período. Essas escolhas podem gerar vieses, já que diferentes janelas temporais, frequências de dados ou formas de cálculo poderiam levar a resultados diferentes. Por fim, o Bitcoin é um ativo recente e extremamente volátil, o que aumenta a incerteza, podendo afetar a estabilidade das carteiras que o incluem. Desse modo, mesmo apresentando benefícios de diversificação nos períodos analisados, não há garantia de que esse desempenho se repetirá no futuro. Mesmo com essas limitações, os testes *out-of-sample* e a análise de sensibilidade mostraram que os resultados são consistentes e que a inclusão do Bitcoin melhora a eficiência da carteira em diferentes cenários de mercado.

Referências

- Akhtaruzzaman, M., Boubaker, S., & Sensoy, A. (2020). Financial contagion during COVID–19 crisis. *Finance Research Letters*, 38, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101604>
- Assaf, A. N. (2018). *Mercado financeiro: Preços, derivativos e risco* (3a ed.). Atlas.
- Banco Central do Brasil. (2025a, 10 de novembro). Banco Central regulamenta o uso de ativos virtuais e o funcionamento das instituições que atuam nesse mercado. *BCB*. <https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/20918/nota>

- Banco Central do Brasil. (2025b). *Histórico de taxas de juros*. <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>
- Batista, D., & Alves, C. (2021). Analysis of Bitcoin's impact on the efficiency of a diversified portfolio for Brazilian investors. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, 23(2), 353-369. <https://doi.org/10.7819/rbgn.v23i2.4113>
- Berk, J. B., & DeMarzo, P. (2014). *Corporate finance* (3rd ed.). Pearson.
- Binance. (2025, 30 de abril). Criptomoeda é escolha de 4 em cada 10 investidores. *Poder360*. <https://www.poder360.com.br/conteudo-patrocinado/criptomoeda-e-escolha-de-4-em-cada-10-investidores/>
- Brière, M., Oosterlinck, K., & Szafarz, A. (2015). Virtual currency, tangible return: Portfolio diversification with Bitcoin. *Journal of Asset Management*, 16(6), 365–373. <https://doi.org/10.1057/jam.2015.5>
- Chen, Y. (2023). *Volatilidade do bitcoin e seus impactos no mercado financeiro*. Editora FGV.
- Coingecko. (2025). *Global cryptocurrency market cap charts*. <https://www.coingecko.com/en/global-charts>
- Elton, E. J., Gruber, M. J., Brown, S. J., & Goetzmann, W. N. (2014). *Modern portfolio theory and investment analysis* (9th ed.). Wiley.
- Fama, E. F., & French, K. R. (1992). The cross-section of expected stock returns. *The Journal of Finance*, 47(2), 427–465. <https://doi.org/10.2307/2329112>
- Ferreira-Schenk, S., & Dickason-Koekemoer, Z. (2023). Analysing the factors affecting the long-term investment intention of investors. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 13(1), 112–120. <https://doi.org/10.32479/ijefi.13640>
- Kohatsu, K. M. S., Aranha, J. A. M., & Brandão, D. D. C. (2023). Avaliação de risco em uma carteira teórica de ações: Um estudo com base na teoria do portfólio de Markowitz. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14(12), 20724–20743. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i12.3224>
- Gonçalves, A. L., Alves, M. M., Pereira, W. M. P., Jr., & Lemes, M. S. (2024). Aplicação dos métodos de Graham e Markowitz no mercado de fundos imobiliários. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 16(1), 1-12. <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/24003/209209219252>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77–91. <https://doi.org/10.2307/2975974>
- Markowitz, H. M. (1991). Foundations of portfolio theory. *The Journal of Finance*, 46(2), 469–477. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1991.tb02669.x>
- Mazanec, J. (2021). Portfolio optimalization on digital currency market. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(4), 160-174. <https://doi.org/10.3390/jrfm14040160>
- Marins, L. G. (2025, 10 de janeiro). ETFs de Bitcoin nos EUA completam 1 ano: Como foi e o que vem pela frente? *InfoMoney*. <https://www.infomoney.com.br/onde-investir/etfs-de-bitcoin-nos-eua-completam-1-ano-como-foi-e-o-que-vem-pela-frente/>
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- Neves, J. F., & Silva, P. N. (2017). Fronteira eficiente a partir da média, variância e assimetria. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, 5(1), 1-2. <https://proceedings.sbmact.org.br/sbmact/article/view/1185/1197>
- Oliveira, A., Gonçalves, V., & Rocha, G., Filho. (2020, June 25-26). *Using Ethereum smart contracts for botnet command and control* [Conference presentation abstract]. Nineteenth European Conference on Cyber Warfare and Security.
- Pakes, P. R., Rocha, T. S., & Silva, B. B. (2022). Análise bibliométrica sobre teoria do portfólio. *Revista Foco*, 15(3), 1-12. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v15n3-001>

- Platanakis, E., & Urquhart, A. (2019). Portfolio management with cryptocurrencies: The role of estimation risk. *Economics Letters*, 177, 76-80. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2019.01.019>
- Sequeira, P. K. Q., Mouzinho, R. S., Machado, V. S., Lima, V. H. D. S. P., & Ferreira, R. N. (2023). Paradoxo brasileiro: Análise da poupança no cenário pandêmico. *Revista Tópicos*, 1(4), 1–17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10360218>
- Ross, S. A. (1976). The arbitrage theory of capital asset pricing. *Journal of Economic Theory*, 13(3), 341–360. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(76\)90046-6](https://doi.org/10.1016/0022-0531(76)90046-6)
- Silva, J., Souza, T., & Almeida, P. (2020). *Mercado financeiro e gestão de riscos*. Editora Universitária.
- Soares, L., Ferreira, M., & Albuquerque, R. (2022). *Análise de risco e retorno em investimentos financeiros*. Editora Manole.
- Triple-A. (2024). *The state of global cryptocurrency ownership in 2024*. <https://6039195.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/6039195/The%20State%20of%20Global%20Cryptocurrency%20Ownership%20in%202024%20Triple-A-1.pdf>
- Zanini, F. A. M., & Figueiredo, A. C. (2005). As teorias de carteira de Markowitz e de Sharpe: Uma aplicação no mercado brasileiro de ações entre julho/95 e junho/2000. *Revista de Administração Mackenzie*, 6(2), 37–64. <https://doi.org/10.1590/1678-69712005/administracao.v6n2p38-64>

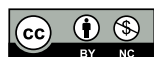
Como citar:

Wakamoto, M., & Cavalcante, P. P. P. (2025). Bitcoin na Teoria de Markowitz: Influência na Eficiência da Carteira. *Revista Ciências Administrativas*, 31, 1-20. <https://doi.org/10.5020/2318-0722.2025.31.e16220>

Endereço para correspondência:

Marcelo Wakamoto
E-mail: marcelo.wakamoto@gmail.com

Pedro Paulo Santos Cavalcante
E-mail: santoscavalcante@hotmail.com



Recebido em: 06/08/2025.
Aceito em: 14/11/2025.