

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

Letícia Moraes Silveira

**DESMISTIFICANDO AS CRIPTOMOEDAS: A CONTRIBUIÇÃO DAS
MOEDAS VIRTUAIS NA DIVERSIFICAÇÃO DOS INVESTIMENTOS**

Santa Maria, RS
2021

Letícia Moraes Silveira

**DESMISTIFICANDO AS CRIPTOMOEDAS: A CONTRIBUIÇÃO DAS MOEDAS
VIRTUAIS NA DIVERSIFICAÇÃO DOS INVESTIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Administração**.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Ceretta

Santa Maria, RS
2021

Silveira, Letícia Moraes

Desmistificando as criptomoedas: a contribuição das moedas virtuais na diversificação dos investimentos / Letícia Moraes Silveira.- 2021.

95 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Sérgio Ceretta

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Sociais e Humanas, Programa de Pós-Graduação em Administração, RS, 2021

1. Criptomoedas 2. Diversificação 3. Portfólio 4. Investimentos I. Ceretta, Paulo Sérgio II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, LETÍCIA MORAES SILVEIRA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Letícia Moraes Silveira

**DESMISTIFICANDO AS CRIPTOMOEDAS: A CONTRIBUIÇÃO DAS MOEDAS
VIRTUAIS NA DIVERSIFICAÇÃO DOS INVESTIMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Administração**.

Aprovada em 17 de dezembro de 2021

Paulo Sérgio Ceretta, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Luis Felipe Dias Lopes, Dr. (UFSM)

Everton Cavalheiro, Dr. (UFPEL)

Santa Maria, RS
2021

RESUMO

DESMISTIFICANDO AS CRIPTOMOEDAS: A CONTRIBUIÇÃO DAS MOEDAS VIRTUAIS NA DIVERSIFICAÇÃO DOS INVESTIMENTOS

AUTORA: Letícia Moraes Silveira
ORIENTADOR: Paulo Sérgio Ceretta

Dentro da ampla gama de ativos financeiros disponíveis, estão as criptomoedas ou moedas virtuais. Essa inovação financeira baseia-se em criptografia e todas as suas transações são registradas e armazenadas digitalmente através de uma tecnologia que compartilha dados contábeis, conhecida como *blockchain*. Nesse contexto, o estudo objetivou verificar a contribuição das moedas virtuais na diversificação dos investimentos e teve como base a teoria do portfólio de Markowitz (1952). Essa diversificação entre ativos pode ser específica para cada caso, de acordo com os graus preferidos de aversão ou afinidade ao risco do investidor. Desta forma, foram selecionados 5 modelos de composição de portfólio: média variância, semi variância média, perda esperada, desvio médio absoluto e ômega. A amostra foi fracionada em 5 subamostras com o objetivo de evitar viés e proporcionar uma maior robustez aos resultados. Cada subamostra foi composta por 100 ações e 5 criptomoedas. As criptomoedas utilizadas na pesquisa foram Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin e Stellar. O período foi delimitado de 18 de janeiro de 2017 a 30 de março de 2021. Além disso, foi realizada uma análise adicional do comportamento dos ativos nas carteiras, considerando os períodos anterior e posterior ao início da pandemia de COVID-19. Os resultados demonstraram que o Bitcoin foi a criptomoeda com desempenho mais consistente, com participação na maioria das carteiras em todos os períodos analisados. Entretanto, a Ethereum e o Ripple também demonstraram bons resultados. O Litecoin não obteve resultados consistentes, visto que foi selecionado em apenas uma carteira no período pós pandemia. A Stellar foi a única criptomoeda que não foi selecionada para composição do portfólio em nenhuma das metodologias aplicadas. Verifica-se, assim, que as criptomoedas podem gerar benefícios de diversificação e contribuir com o retorno dos investimentos ao serem alocadas pelos investidores em suas carteiras.

Palavras-chave: Criptomoedas. Diversificação. Portfólio. Investimentos.

ABSTRACT

DEMISTIFYING THE CRYPTOCURRENCIES: THE CONTRIBUTION OF VIRTUAL CURRENCIES TO THE INVESTMENTS' DIVERSIFICATION

AUTHOR: Letícia Moraes Silveira

ADVISOR: Paulo Sérgio Ceretta

Within the wide range of available financial assets are cryptocurrencies or virtual currencies. This financial innovation is based on encryption and all its transactions are recorded and stored digitally by a technology that shares accounting data, known as *blockchain*. In this context, the study's objective was to verify the contribution of virtual currencies in the investments' diversification and was based on the portfolio's theory of Markowitz (1952). This diversification between assets can be specific to each case, according to the levels of risk preferred by the investor's aversion or affinity. Therefore, five portfolio composition models were selected: average variance, average semi variance, expected loss, average absolute deviation and omega. The sample was divided into 5 sub-samples in order to avoid bias and provide greater robustness to the results. Each sub-sample consisted of 100 shares and 5 cryptocurrencies. The cryptocurrencies used in this research were Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin and Stellar. The period was delimited from January 18, 2017 to March 30, 2021. Also, an additional analysis of the assets' behavior in the portfolios was carried out, considering the periods before and after the beginning of the COVID-19 pandemic. The results showed that Bitcoin was the cryptocurrency with the most consistent performance, participating in most portfolios in all periods analyzed. However, Ethereum and Ripple also showed good results. Litecoin did not obtain consistent results, as it was selected from only one portfolio in the post-pandemic period. Stellar was the only cryptocurrency that was not selected for the portfolio's composition in any of the applied methodologies. Thus, it confirms that cryptocurrencies can generate diversification benefits and contribute to investments' return when allocated by investors in their portfolios.

Keywords: Cryptocurrencies. Diversification. Portfolio. Investments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transação através da <i>blockchain</i>	23
Figura 2 – Funcionamento do <i>hash</i>	24
Figura 3 – Funcionamento do bloco	26
Figura 4 – Funcionamento do <i>blockchain</i>	27
Figura 5 – Funcionamento dos <i>peers</i>	28
Figura 6 – Funcionamento dos <i>Tokens</i>	29
Figura 7 – Transações de criptomoedas	30
Figura 8 – Ciclo de vida da transação do <i>Bitcoin</i>	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Preço do <i>Bitcoin</i> de janeiro de 2017 a março de 2021 em dólares americanos	34
Gráfico 2 – Capitalização de mercado total de criptomoedas de janeiro de 2017 a março de 2021 em dólares americanos.....	35
Gráfico 3 – Fronteira eficiente.....	55
Gráfico 4 – Distribuição de perdas e ganhos, VaR e CVaR.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatística descritiva do período total	67
Tabela 2 – Estatística descritiva do período anterior à pandemia de COVID-19.....	69
Tabela 3 – Estatística descritiva do período após início da pandemia de COVID-19.....	70
Tabela 4 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo de média variância.....	72
Tabela 5 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo de semivariância média.....	73
Tabela 6 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo de desvio absoluto médio	74
Tabela 7 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo de perda esperada	75
Tabela 8 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo ômega	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da estatística descritiva da amostra de criptomoedas	71
Quadro 2 – Resumo dos resultados obtidos através da aplicação dos modelos	77

LISTA DE ABREVIATURAS

BTC	Bitcoin
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CVaR	Conditional Value at Risk
ETH	Ethereum
HME	Hipótese de mercado eficiente
LTC	Litecoin
MAD	Mean absolute deviation
NASDAQ	National Association of Securities Dealers Automated Quotations
NYSE	The New York Stock Exchange
VaR	Value at Risk
XRP	Ripple
XLM	Stellar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVA	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	DA ORIGEM DO DINHEIRO ÀS FINANÇAS DESCENTRALIZADAS	19
2.1.1	Blockchain	22
2.1.2	Simulando transações na rede	24
2.1.3	Mecanismos de Consenso	30
2.1.3.1	<i>Proof of work</i>	31
2.1.3.2	<i>Proof of stake</i>	32
2.1.4	A ascensão do Bitcoin	33
2.1.5	A expansão das criptomoedas	35
2.1.6	Negociação no mercado das criptomoedas	37
2.1.7	Vantagens e desvantagens das criptomoedas	40
2.1.8	Desmistificando as criptomoedas	44
2.2	TEORIA MODERNA DO PORTFÓLIO	46
2.2.1	O Modelo de Precificação de Ativos de Capital	49
2.2.2	Hipótese do mercado eficiente	51
2.2.3	Modelos de composição de portfólio	52
2.2.3.1	<i>O Modelo de média variância e a fronteira eficiente</i>	52
2.2.3.2	<i>O Modelo de semi variância média</i>	55
2.2.3.3	<i>O modelo de perda esperada</i>	56
2.2.3.4	<i>O modelo de desvio médio absoluto</i>	59
2.3	O PANORAMA DAS PESQUISAS NO CENÁRIO MUNDIAL	60
3	METODOLOGIA	63
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	67
4.1	ESTATÍSTICA DESCRITIVA	67
4.2	RESULTADOS DOS MODELOS DE COMPOSIÇÃO DE PORTFÓLIO	71
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A tomada de decisão faz parte da vida de todas as pessoas, seja ela simples ou complexa. Ao decidir o quanto de sua riqueza deve ser consumido hoje e o quanto deve ser economizado ou investido para consumo em uma data futura, e ainda, onde ela deve ser alocada, os investidores visam maximizar seus rendimentos. Entretanto, analisar as diversas possibilidades de investimento não é uma tarefa fácil, o que tornou necessário o desenvolvimento de teorias para auxiliar na escolha dos ativos para composição da carteira ideal. Markowitz (1952) foi o pioneiro ao apresentar o que hoje é conhecido como Moderna Teoria do Portfólio, que descreve o processo pelo qual um investidor seleciona uma determinada carteira de investimentos.

Esse processo envolve uma dicotomia entre o risco e o retorno. Para cada nível de risco, obtém-se uma carteira de maior retorno possível dentro da chamada curva de eficiência. Na prática, não é possível que todo o risco seja eliminado, mas através da diversificação é possível minimizá-lo. Portanto, entender a importância da diversificação pode ajudar os gerentes financeiros a obter portfólios de desempenho superior.

Quase todas as pessoas possuem um portfólio de ativos, sejam eles reais (como uma casa, um carro, um quadro de um artista famoso), ou financeiros (como ações, títulos do tesouro, fundos de investimento). Dentro da ampla gama de ativos financeiros disponíveis, estão as criptomoedas. As criptomoedas são moedas digitais, um meio de pagamento que não precisa de moedas ou notas físicas e pode existir somente *on-line*. Essa inovação financeira se baseia em criptografia e todas as suas transações são registradas e armazenadas digitalmente, através de uma tecnologia que compartilha dados contábeis, conhecida como *blockchain* (BALCILAR; ROUBAUD, 2017).

A criptografia é a base essencial para o sistema funcionar sem erros. Cada usuário possui duas chaves, uma pública e uma privada. Quando há uma transação, o vendedor acrescenta sua chave privada e insere a chave pública do destinatário. Essa transação é registrada no *blockchain*, responsável pelo armazenamento de todos os registros, e que possibilita a conferência de cada uma dessas movimentações. Existe, ainda, a Figura dos mineradores, que nesse sistema são responsáveis pelas validações das transferências, evitando fraudes (SIMSER, 2015).

As criptomoedas são consideradas como uma nova classe de ativos (BAEK; ELBECK, 2015; GLASER et al., 2014), pois possuem uma natureza diferente da moeda convencional, como o dólar e o euro, que são altamente dependentes das condições econômicas globais e do estado, como inflação, comércio, crises, política, entre outras. Além disso, como ela não se trata

de uma moeda física, o custo de produção não é tão alto quanto o de notas ou moedas. Essas características fazem com que as moedas virtuais tenham um baixo relacionamento com ativos tradicionais, sendo consideradas como um bom ativo alternativo para os investidores, funcionando como um refúgio (ANDRIANTO; DIPUTRA, 2017).

Algumas de suas vantagens consistem em taxas de transação mais baixas e capacidade de movimentação com maior liberdade. Além disso, diferente do que se pode pensar, é provável que seja um dos meios de troca mais transparentes do mundo, pois qualquer um pode ter acesso ao saldo das estatísticas e aos códigos de uso. Essa característica faz com que elas não possam ser manipuladas por governos ou instituições financeiras. O poder cedido às instituições financeiras, no caso das moedas tradicionais, é visto por alguns pesquisadores como perigoso, pois toda a economia fica dependente de suas decisões, o que se torna preocupante, principalmente quando ocorre, como por exemplo, a crise de 2008, efetivada por decisões equivocadas das instituições financeiras (FRANCO; BAZAN, 2018; SIMSER, 2015).

O *Bitcoin* é reconhecido como a primeira criptomoeda (mesmo que antes dele tenham ocorrido outras tentativas) sendo desenvolvido em 2009 por uma pessoa (ou grupo de pessoas) até hoje desconhecida, através do pseudônimo de Satoshi Nakamoto. Ele foi rapidamente aceito no mundo financeiro, atraindo a atenção de muitos investidores. Algumas empresas, inclusive, já introduziram o recebimento de pagamentos através de *Bitcoin*, como a Dell, Microsoft, Valve, Tesla, Amazon, PayPal e Subway (RUSSO, 2017).

A primeira transação de *Bitcoin* foi executada com uma pequena taxa de 1 dólar por 1.309,03 *Bitcoins* e, no final de março de 2021, o preço de 1 *Bitcoin* ultrapassou o valor de 59 mil dólares. Verifica-se que essa criptomoeda parece se comportar mais como um investimento especulativo do que como uma moeda, visto que sua capitalização de mercado é alta em comparação com as transações financeiras que ele facilita. Ou seja, o que começou como uma ferramenta de governança descentralizada, tornou-se um ativo de investimento (YERMACK, 2013).

Ao longo dos anos, o valor de mercado e a quantidade de criptomoedas aumentaram rapidamente. Atualmente, existem mais de 14 mil moedas virtuais, com capitalização de mercado de 2,5 trilhões de dólares. Entre as criptomoedas com maior domínio de mercado, estão o *Bitcoin* (US\$ 1 trilhão), *Ethereum* (US\$ 501 milhões), *Tether* (US\$ 72 milhões), *Ripple* (US\$ 48 milhões), *Litecoin* (US\$ 14 milhões) e *Stellar* (US\$ 7 milhões). A capitalização de mercado de criptomoedas atingiu seu pico em US\$ 2,8 trilhões em novembro de 2021 (COINMARKETCAP, 2021).

No mundo acadêmico, as moedas virtuais se tornaram foco de interesse devido ao seu alto retorno e volatilidade. Embora o preço e as flutuações das criptomoedas sejam difíceis de determinar, alguns fatores citados pelos pesquisadores consistem na interação entre demanda e oferta, a atratividade para investidores e as condições macroeconômicas (CIAIAN; RAJCANIOVA; KANCS, 2014). Além disso, apesar do seu caráter altamente volátil, sua inclusão em um portfólio diversificado, mostra-se bastante lucrativa (HALABURDA; GANDAL, 2014).

As primeiras pesquisas tiveram como foco de estudo o *Bitcoin*. Alguns dos aspectos estudados consistem na utilização do *Bitcoin* como meio de pagamento e como ativo de investimento (WU, 2014), na existência de anomalias em seus preços (KURIHARA; FUKUSHIMA, 2017), nas características que o diferem dos outros ativos (BRIÈRE; OSTERLINCK; SZAFARZ, 2013) e no seu papel diversificador no portfólio de investimentos (ANDRIANTO; DIPUTRA, 2017; EISL; GASSER; WEINMAYER, 2015; FTITI et al., 2018). Por sua vez, as pesquisas mais recentes, passaram a incluir outras criptomoedas na análise dos portfólios (LEUNG; NGUYEN, 2018; DORFLEITNER; LUNG, 2018; EHLERS; GAUER, 2019), entre elas, *Litecoin*, *Dash*, *Ether*, *Ripple*, *Monero*, *Stellar* e *Ethereum*.

Apesar da existência de uma quantidade significativa de estudos, é necessário frisar que se trata de um ativo novo em relação à maioria dos outros ativos que costumam formar as carteiras. Somente no ano passado, o Bitcoin completou sua primeira década de vida, o que pode ser considerado recente visto que o mercado de ações tradicionais surgiu no século 17, tendo bastante tempo para ser manipulado (BAUMÖHL, 2019; STRINGHAM, 2015). Ou seja, é um momento importante para a realização de estudos visto que este mercado está começando a acumular dados suficientes para análises empíricas.

Além disso, apesar do crescente número de adeptos, o grau de aceitação por parte das pessoas em relação às criptomoedas ainda é considerado baixo (Mota, 2019). Essa aversão quanto ao seu uso como ativo de investimento, pode estar relacionada com a falta de conhecimento dos potenciais usuários. Uma pesquisa realizada pela empresa mundial de segurança virtual Kaspersky, com consumidores de 22 países, verificou que 81% dos entrevistados nunca compraram criptomoedas e apenas 10% entendem como esses ativos funcionam (KASPERSKY, 2019). Outro estudo, realizado no Reino Unido, verificou que o nível de compreensão das criptomoedas está diminuindo, havendo indícios de que alguns usuários podem não compreender totalmente o que estão comprando (KARIM; TOMOVA, 2021). Por sua vez, uma pesquisa realizada no mercado americano verificou que 43% dos entrevistados afirmaram não entender as criptomoedas e cerca de 13% sequer ouviram falar do

assunto (PIPLSAY, 2021). Dessa forma, verifica-se a necessidade de informação útil relacionada a este tipo de ativo, ainda desconhecido por grande parte das pessoas.

Salienta-se, também, que a pesquisa sobre o papel das criptomoedas na diversificação de portfólio é bastante limitada. Verifica-se que a maioria dos estudos foca exclusivamente no Bitcoin, deixando de lado a existência das demais criptomoedas, o que pode causar um prejuízo na análise visto que elas são independentes entre si. Além disso, normalmente utilizam uma abordagem única na escolha do portfólio ideal, outro ponto crítico visto a existência de infinitos perfis de investidores. É necessário um aprofundamento no estudo das estratégias de alocação desse tipo de ativo nas carteiras, a fim de determinar a orientação mais adequada para cada tipo de investidor, analisando os efeitos da adição das criptomoedas à carteira de ativos.

Este estudo aborda essa lacuna ao incluir 5 criptomoedas - *Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin* e *Stellar* - aos portfólios, que serão analisados através de 5 modelos – média variância, semi variância média, perda esperada, desvio médio absoluto e ômega. Assim, o estudo busca comprovar empiricamente a contribuição das moedas virtuais na diversificação dos investimentos, verificando em que medida as criptomoedas podem proporcionar otimização ao portfólio. Além disso, apresenta o levantamento de informações que visam clarificar o funcionamento desse tipo de ativo, a fim de ampliar o conhecimento de potenciais investidores e pesquisadores da área.

Por fim, salienta-se os reflexos da pandemia mundial de COVID-19 no desenvolvimento do estudo. Após a realização dos primeiros cálculos, o cenário mundial alterou-se drasticamente, e, desta forma, foi realizada uma análise adicional do comportamento dos ativos nas carteiras, considerando os períodos anterior e posterior ao início da pandemia. Assim, pretende-se evitar vieses na análise do comportamento das criptomoedas, verificando, ainda, um possível impacto exógeno no mercado desses ativos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Uma das maiores questões relacionadas aos investimentos consiste em decidir quais produtos financeiros deverão compor o portfólio que se ajuste aos objetivos de cada pessoa, visto que a escolha dos ativos e sua proporção influenciam diretamente na rentabilidade da carteira. Esse processo exige estudo e conhecimento a respeito do mercado e dos diferentes tipos de ativos.

De acordo com Bernstein e Damodaran (2000), para auferir o maior ganho possível, faz-se necessário conhecer os tipos de investimentos disponíveis no mercado, suas características,

tendências, desvantagens e peculiaridades no momento de aplicar o capital. Nesse sentido, salienta-se que as criptomoedas são ativos que possuem algumas características atrativas aos investidores. Entre elas, os altos retornos e a baixa correlação com outros ativos.

Entretanto, essa modalidade de ativo ainda é pouco compreendida pelos investidores, seja pelo seu funcionamento considerado complexo em comparação com outros ativos, pelas incertezas quanto à rentabilidade e liquidez, ou por sua alta volatilidade. Portanto, apesar dos benefícios gerados por esses ativos, os investidores podem encarar como um desafio lidar com suas características peculiares.

Salienta-se que as incertezas dos investidores em relação às criptomoedas podem ser sanadas com informações, estudo e entendimento sobre seu funcionamento e características próprias. A tomada de decisão relacionada a escolha de ativos de investimento requer a exploração das informações disponíveis e a realização de estudos empíricos. Nesse sentido, apresenta-se a seguinte questão problema: **Qual é a contribuição das moedas virtuais na diversificação do portfólio?**

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa dividem-se em geral e específicos.

1.2.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste estudo é avaliar se as criptomoedas podem contribuir para a diversificação da carteira de investimentos.

Para isso, será realizado o levantamento da teoria do portfólio, bem como do conhecimento científico relacionado às criptomoedas, a fim de esclarecer seu funcionamento. A verificação da importância das criptomoedas na construção das carteiras será realizada através da análise de 5 modelos de composição de portfólio, sendo eles, média variância, semi variância média, perda esperada, desvio médio absoluto e ômega.

1.2.2 Objetivos específicos

A fim de atingir o objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o levantamento da produção teórica relacionada às criptomoedas e aos modelos de composição de portfólio.

- Definir os ativos que comporão a amostra utilizada para construção das carteiras;
- Construir e analisar os portfólios, verificando a participação das criptomoedas nas carteiras, através da aplicação dos modelos de média variância, semi variância média, perda esperada, desvio médio absoluto e ômega.

1.3 JUSTIFICATIVA

A análise financeira está presente nas decisões que tomamos diariamente, quando decidimos qual carro comprar, qual plano de previdência contratar, qual escola matricular nossos filhos, qual a melhor destinação para nossas economias e até em situações corriqueiras, como qual produto de limpeza escolher no supermercado depois de realizar um rápido cálculo mental entre custo e benefício. Essas pequenas e grandes decisões envolvem expectativas de algum retorno, seja financeiro ou não. Este estudo foca nos retornos financeiros, resultado das escolhas de investimento. Para esse fim, uma das formas de identificar em quais ativos investir, e dessa maneira compor a carteira, consiste na análise quantitativa. Através da utilização de algoritmos e lógica de programação, pode-se realizar testes relacionados à escolha de ativos de investimento e obter resultados que auxiliarão no processo de tomada de decisão.

Ao realizar suas aplicações, o investidor normalmente atenta-se para duas questões: o retorno e o risco. Salienta-se que o estudo tem como base a teoria do portfólio de Markowitz (1952) que visa a otimização de carteiras através da diversificação, sendo que seu ponto chave consiste na combinação de ativos que possuam as melhores relações entre risco e retorno. Essa relação é considerada a espinha dorsal na gestão de carteiras (ELTON et al., 2003).

De acordo com Shah e Jammalamadaka (2017), a alocação ou diversificação entre ativos, pode ser específica para cada caso, de acordo com os graus preferidos de aversão ou afinidade ao risco do investidor e, em certos casos, até condições específicas do investimento. Nesse ponto, salienta-se a importância do estudo ao verificar o comportamento das carteiras através da aplicação de 5 modelos diferentes de composição de portfólio: média variância, semi variância média, perda esperada, desvio médio absoluto e ômega. Dessa forma, busca-se contemplar diferentes perfis de investidores.

O investimento em foco neste estudo consiste nas criptomoedas, modalidade de ativo que vem ganhando cada vez mais mercado, principalmente devido a sua alta capacidade de retorno. Algumas das vantagens apontadas pelos pesquisadores consistem em sua natureza diferente das moedas convencionais, que são altamente dependentes das condições econômicas e em seu custo de produção substancialmente menor, por não existirem notas ou moedas físicas.

Esse baixo relacionamento com ativos tradicionais, as tornam bons ativos alternativos para os investidores (ANDRIANTO; DIPUTRA, 2017). Outras vantagens seriam as taxas de transação mais baixas, capacidade de movimentação com maior liberdade e agilidade para realizar transações a qualquer momento e para qualquer pessoa em todo o mundo (FRANCO; BAZAN, 2018; SIMSER, 2015).

De acordo com Easley et al. (2019), os Bitcoins em circulação somam mais de 17 milhões e estima-se que 35 milhões de carteiras deste ativo são mantidas em todo o mundo. Além disso, o volume de todas as moedas criptografadas somava US\$ 20,4 bilhões em novembro de 2018. Entretanto, ainda que o número de adeptos às criptomoedas venha crescendo, o grau de aceitação por parte das pessoas ainda é considerado baixo (Mota, 2019). Essa aversão quanto ao seu uso como ativo de investimento, pode estar relacionada com a falta de conhecimento dos investidores. É necessário que as pessoas entendam seu funcionamento, suas características e expectativas.

De acordo com Bernstein e Damodaran (2000), para auferir o maior ganho possível, é necessário conhecer aquilo em que se pretende investir, suas características, tendências, desvantagens e peculiaridades. O somatório da falta de conhecimento com o medo faz com que as pessoas deixem de realizar bons investimentos que maximizariam seus retornos. Dentre as razões que deram origem ao tema do estudo, está o desejo de desmistificar os pensamentos que envolvem as moedas virtuais, pois somente através da informação e do conhecimento é possível combater o medo do desconhecido. Nesse ponto, evidencia-se a importância social da pesquisa ao disponibilizar informação útil para as pessoas que se interessam pelo ativo, aumentando sua possibilidade de gerar retornos financeiros.

Além disso, a previsão de retornos das criptomoedas em carteiras de investimento é um tema relativamente recente e com muitos aspectos a serem explorados devido ao pouco tempo de criação e maturidade. A maioria das pesquisas que verificam a utilização de criptomoedas em portfólios possui como foco o *Bitcoin*. Entretanto, salienta-se que atualmente existem mais de 14 mil moedas virtuais (COINMARKETCAP, 2021), e como cada uma se comporta de maneira independente, há mais de 14 mil possibilidades diferentes de investimento. Ou seja, a inclusão de mais criptomoedas ao portfólio representa um ganho informacional em relação à maioria das pesquisas relacionadas.

Com isso, verifica-se uma oportunidade para que o trabalho sirva como fonte para os próximos estudos na área. Nesse ponto, evidenciamos a importância acadêmica da pesquisa. Não se pretende aqui colocar um ponto final no estudo das criptomoedas como ativo de investimento, mas contribuir com a literatura, buscando explorar o conhecimento, mitigar as

incertezas e incentivar o pensamento crítico em relação às finanças no mundo moderno, visto que estamos vivendo um período repleto de inovações.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em 6 capítulos, distribuídos segundo sua evolução. O capítulo um, ora apresentado, trouxe uma introdução ao trabalho, a qual apresenta o problema, os objetivos e a justificativa para elaboração da pesquisa.

No capítulo dois, o trabalho abordará a fundamentação teórico-conceitual que embasará a pesquisa, contendo a revisão da teoria relacionada às criptomoedas, à Moderna Teoria do Portfólio e estudos anteriores aplicados no cenário internacional.

No capítulo três, constará a metodologia utilizada na elaboração do trabalho. No capítulo quatro, serão apresentados os resultados verificados. E, por fim, no capítulo cinco, será exposta a conclusão do estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico do estudo engloba o levantamento da literatura no campo dos criptoativos, bem como na área de diversificação de investimentos. Primeiramente, serão apresentados aspectos relacionados a origem, evolução, funcionamento e características das moedas virtuais. Posteriormente, será abordada a literatura científica relacionada a diversificação dos portfólios, teoria base desta pesquisa.

2.1 DA ORIGEM DO DINHEIRO ÀS FINANÇAS DESCENTRALIZADAS

Antes de abordar o sistema atual das finanças descentralizadas, contexto no qual se inserem as criptomoedas, mostra-se necessário entender como chegou-se até aqui. Conforme explica Augusto (2011), em seu estágio inicial, a economia era caracterizada por unidades familiares isoladas, que produziam apenas os bens que necessitavam para consumo próprio. No estágio seguinte, ocorreu o desenvolvimento da divisão do trabalho e o despertar da consciência nos indivíduos das vantagens das trocas. A troca direta de produtos, entretanto, ficava muito restrita, pois dependia da casualidade do encontro entre dois indivíduos com escalas de valores inversas, isto é, um indivíduo só trocava seus bens que, para ele, possuísem um valor de uso menor do que o valor de uso dos bens do outro indivíduo.

Através de experiência e reflexão, os indivíduos perceberam diferenças na relação entre oferta e procura das mercadorias e, dessa forma, aquelas com maior grau de vendabilidade passaram a funcionar como meio de troca, ou seja, os indivíduos vendiam seus bens por outros que não necessariamente precisavam, mas que sabiam que trariam maior facilidade de troca por algo no futuro. Assim, a mercadoria que antes era vista como meio de satisfazer suas necessidades imediatas se transforma em um bem aceito de forma generalizada, tornando-se dinheiro (MENGER, 1892).

Conforme a Casa da Moeda do Brasil (2021), esse sistema de troca durou por vários séculos e deu origem ao surgimento de vocábulos que são utilizados até hoje, como as palavras salário (pagamento realizado através de uma certa quantidade de sal) e pecúnia (do latim *pecus*, que significa rebanho). Algumas das primeiras moedas físicas, ou seja, peças que representam valores, surgiram na Lídia, atual Turquia, no século VII A.C. e suas características eram cunhadas através da pancada de algum objeto pesado como o martelo. Inicialmente, seu valor monetário era valorizado pela nobreza dos metais empregados, como o ouro e a prata. Com o passar dos anos, esses materiais foram substituídos por metais menos raros.

A necessidade de guardar essas moedas em segurança deu origem ao surgimento dos bancos. Os negociantes de metais, por terem cofres e guardas a seu serviço, passaram a aceitar a responsabilidade de cuidar do dinheiro de seus clientes e a dar recibo das quantias guardadas. Esses recibos passaram, com o tempo, a servir também como meio de pagamento por serem mais seguros de portar do que o dinheiro vivo. Assim, originaram-se as primeiras cédulas de papel moeda. Alguns dos primeiros bancos reconhecidos oficialmente surgiram na Suécia em 1656, na Inglaterra em 1694, na França em 1700 e no Brasil em 1808. A palavra banco tem origem italiana e refere-se à peça de madeira que os comerciantes de valores oriundos da Itália e estabelecidos em Londres usavam para operar seus negócios no mercado público londrino (GONÇALVES, 1984).

O surgimento das moedas e dos bancos transferiu a necessidade de confiança que as pessoas precisavam ter umas nas outras para realizar trocas, visto que essa confiança passou a ser depositada nos bancos. A partir deste momento, órgãos centralizadores foram assumindo o controle do dinheiro. De acordo com Zetzsche et al. (2020), no cerne das finanças tradicionais está uma série de intermediários, entre eles, as instituições financeiras (como os bancos) e os fornecedores de mercado (como as bolsas de valores). Esses intermediários reúnem uma gama de participantes do mercado financeiro, em particular, aqueles que possuem recursos financeiros (como poupadores, credores e investidores) e aqueles que procuram recursos financeiros (como mutuários e empresários). As finanças tradicionais são, portanto, caracterizadas por grandes intermediários, que centralizam funções e recursos financeiros.

De acordo com Stepanova e Eriņš (2021), a centralização das finanças permitiu confiar importantes decisões a especialistas e possibilitou que os usuários fizessem transações justas e evitassem gestão financeira imprópria, fraude e corrupção. Esse sistema comandou sozinho o mundo financeiro por anos até o surgimento da tecnologia *blockchain*, a qual introduziu uma nova forma de realizar transações. Através da descentralização financeira, os participantes do mercado ganharam a oportunidade de diminuir o papel dos intermediários, transferindo serviços financeiros existentes para o *blockchain*, ambiente das criptomoedas.

As finanças descentralizadas (também chamadas pela sigla DeFi, que tem origem no termo em inglês *decentralized finance*) consistem em um conjunto de aplicativos descentralizados que automatizam serviços financeiros baseados no *blockchain*, tecnologia sem qualquer controle centralizado que surgiu juntamente com o *bitcoin*, em 2009. De acordo com Van der Merwe (2021), a verdadeira inovação por trás do *bitcoin* foi o *blockchain*, pois deu origem a uma metodologia de consenso descentralizada que permite a negociação ponto a

ponto, bem como a liquidação e a manutenção de registros de transações sem uma autoridade central.

A *blockchain* pavimentou o caminho para tipos novos e inovadores de ativos digitais, como a Ethereum, uma plataforma de *software* aberta movida a *blockchain* que permite a criação dos chamados contratos inteligentes, que executam serviços financeiros e automatizam transações entre duas partes, excluindo intermediários. O contato inteligente garante alta precisão, transparência, rapidez e segurança, visto que as informações sobre o cumprimento de seus requisitos ficam disponíveis para todas as partes interessadas. Os usuários também podem aderir e combinar vários serviços financeiros, o que abre mais oportunidades para fazer transações na rede (STEPANOVA; ERINŠ, 2021).

Conforme dados da DeFi Pulse (2021), até maio de 2021 os usuários confiaram mais de 65 bilhões de dólares em criptomoedas em contratos inteligentes. DeFi inclui conceitos de desenvolvimento sustentável representados por 3Ds - digitalização, descentralização e democratização. A digitalização representa a utilização de tecnologias digitais em todas as esferas econômicas, na vida, no trabalho e nas comunicações. A descentralização significa a remoção do controle de grandes bancos ou instituições financeiras e a divisão de poder entre o público em geral, o que reduz custos de transações financeiras e permite que todos os participantes tenham benefícios de efeitos de rede e consigam ampliar suas oportunidades. Por sua vez, a democratização representa oportunidades iguais para todos, tornando os serviços financeiros acessíveis a qualquer pessoa independentemente do status social ou de sua localização geográfica, bastando um telefone celular com internet para ser acessado (STEPANOVA; ERINŠ, 2021).

Para Kutsyk et al. (2020), com o crescimento do volume e da complexidade de informações utilizadas para a tomada de decisões gerenciais, os problemas de segurança e de confiança são cada vez mais agudos, bem como mais difícil é garantir a proteção e a precisão destas informações. Nesse sentido, a *blockchain*, através da utilização de registros distribuídos, permite que as transações sejam feitas com quase absoluta certeza de que ninguém será capaz de adulterar os registros ou fazer correções não autorizadas. Isso altera drasticamente as abordagens tradicionais para verificar documentos eletrônicos, visto que a *blockchain* permite uma auditoria completa e automatizada de todas as transações para reconhecer o controle de uma entidade sobre um ativo. Esta verificação é possível devido ao mecanismo de construção e armazenamento das informações nos blocos, pois cada transação deixa um registro único no banco de dados.

2.1.1 Blockchain

Há 12 anos, um autor anônimo, conhecido pelo pseudônimo de Satoshi Nakamoto (2008) publicou um artigo intitulado “*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*” no qual descrevia um protocolo de uma moeda eletrônica *peer-to-peer* (de pessoa para pessoa), descentralizado e à prova de adulterações, que tornaria possível o envio de pagamentos diretamente de uma parte para outra, sem passar por uma instituição financeira. Essa moeda, chamada Bitcoin, permitiria a realização de transações digitais, gerando um registro transparente e aberto que poderia ser verificado por qualquer pessoa.

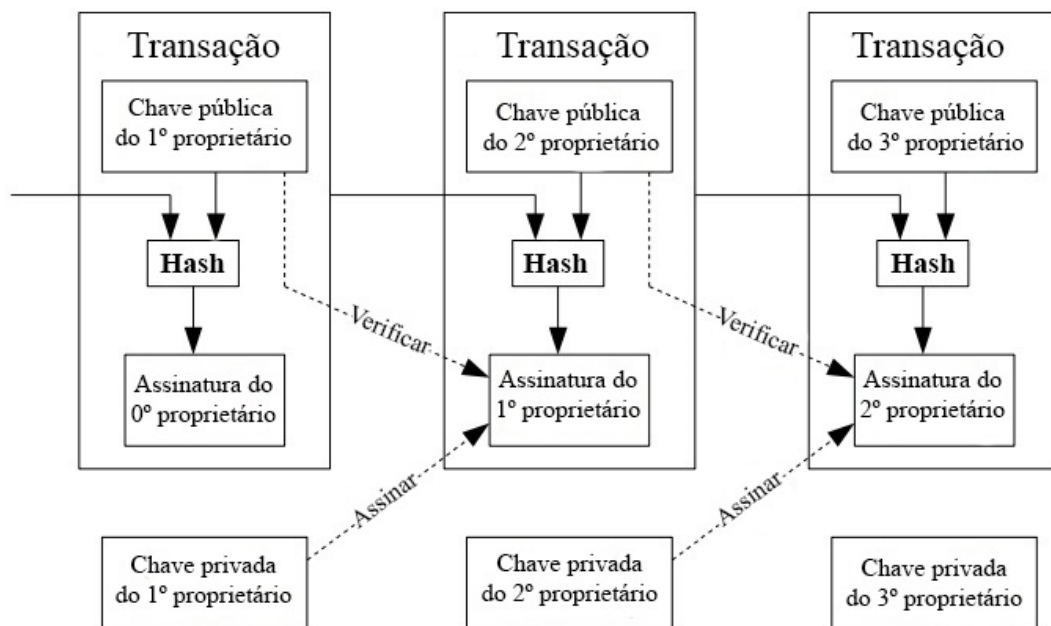
O mecanismo por trás do funcionamento dessa nova moeda dá-se por meio de um *software* presente em vários computadores espalhados pelo mundo e conectados mutuamente, possibilitando que as transações sejam mais seguras. Além disso, a confiança na transação é dada na criptografia e na análise que é feita na corrente de blocos - daí provém o nome *blockchain* - buscando a veracidade das informações (SICHEL; CALIXTO, 2018). São como livros nos quais são registradas transações de maneira rápida, ilimitada, segura e transparente. Diferentemente do que ocorre com a maioria dos ativos, as criptomoedas não são supervisionadas por uma única instituição responsável por auditar e registrar as operações em um banco de dados central. Se duas pessoas realizarem uma transação, ela será executada, registrada na *blockchain* e disponível de maneira criptografada para todos (BROUGHTON, 2016).

Segundo Nofer, Gomber e Hinz (2017), a *blockchain* é uma representação histórica guardada permanentemente e que não pode ser modificada. Ela é formada por dados que compõem um determinado pacote, sendo que cada pacote representa um grupo de transações. A *blockchain* aumenta conforme novos pacotes de dados são inseridos, formando uma corrente de blocos e mantendo, assim, sempre um histórico completo das transações realizadas no mercado em que é utilizada. Esses pacotes são validados por meio de criptografia, e além do histórico de transações, cada pacote de dados também possui um valor de *hash* do pacote de dados anterior. O *hash* é um algoritmo utilizado para transformar muitas informações em uma sequência de tamanho fixo. Na mineração de bitcoins (que será explicada em tópico próprio), os computadores buscam encontrar essas sequências para validar a *blockchain* e os mineradores recebem bitcoins como recompensa.

De acordo com seu criador, Nakamoto (2008), a *blockchain* é como uma cadeia de assinaturas digitais na qual cada proprietário transfere sua moeda para o próximo dono, assinando digitalmente sua transação no banco de dados, e a chave pública do próximo

proprietário é adicionada na moeda (conforme Figura 1). O segredo desse sistema é que o bloco da parte posterior irá conter a impressão digital do bloco anterior com o acréscimo de seu próprio conteúdo codificado e, tendo posse das informações de ambas as partes, acabam criando, de forma codificada, sua impressão digital exclusiva (BADEV e CHEN, 2014).

Figura 1 – Transação através da *blockchain*



Fonte: Adaptado de Nakamoto (2008).

Conforme Tapscott e Tapscott (2016), as principais qualidades da *blockchain* são as seguintes:

- Descentralização: a *blockchain* é executada em computadores de voluntários ao redor do mundo e não depende de um intermediário para assegurar a operação;
- Criptografia: dados altamente criptografados garantem a segurança das informações;
- Público: seu código é aberto, as operações não dependem de uma instituição para validá-las e podem ser facilmente rastreadas;
- Inclusão: a tecnologia exigida para efetuar as operações é baixa, tornando-a mais acessível;
- Imutável: após a validação da transação, o registro não pode ser alterado;

f) Histórica: ela pode guardar todas as transações efetuadas, ou seja, para alterar uma transação seria necessário alterar todas as transações posteriores.

2.1.2 Simulando transações na rede

Neste tópico serão abordados, de maneira prática, os conceitos relacionados ao *blockchain*. Para isso, será utilizado o simulador de Anders Brownworth. Conforme Brownworth (2019), a ferramenta possibilita uma demonstração visual da tecnologia *blockchain*, explicando seu funcionamento a partir de conceitos simples através de uma demonstração na web. O simulador foi criado após alguns anos de experiência ministrando aulas, palestras e apresentações em diversos locais como *Massachusetts Institute of Technology*, *Federal Reserve Bank of Boston* e *Yale*.

O primeiro conceito apresentado, conforme a Figura 2, refere-se ao *hash*. Conforme Azad e Pathan (2015), trata-se de um algoritmo de resumo que recebe uma mensagem como entrada e gera uma saída de comprimento fixo em resposta, geralmente menor que o comprimento da mensagem de entrada, assim, o que ocorre aqui consiste na transformação de um dado (como um arquivo, senha ou informação) em um conjunto alfanumérico com uma quantidade fixa de caracteres. Ele pode ser utilizado para resumir dados, verificar a integridade das informações e garantir a segurança dentro de um servidor. A capacidade de resumir muitas informações em uma única sequência de letras e números trouxe uma praticidade gigantesca à tecnologia da informação.

Figura 2 – Funcionamento do *hash*

The figure displays two examples of a web-based hash calculator. Each example consists of a 'Dados:' label above a text input field and a 'Hash:' label above a text output field. In the first example, the input is 'Dinheiro' and the output is a long alphanumeric string. In the second example, the input is 'dinheiro' and the output is another long alphanumeric string.

Fonte: Adaptado de Brownworth (2019).

O processo de criptografia da função *hash* é bastante complexo, envolvendo modelos matemáticos e programação. Entretanto, para os fins propostos neste estudo, basta entender que a informação será transformada em uma sequência alfanumérica única e não aleatória. Na simulação realizada, por exemplo, a palavra “Dinheiro” resultou no *hash* f74b4c3d0e62149b4ccb303f5077c5fa07822ef87488aa9e4440d7306595ebb7. Por sua vez, a palavra “dinheiro” resultou em um *hash* muito diferente, sendo 2010992d6ea323e39585ac882d3be4c5457520e651cdd5770eea40edadcf02d0, ou seja, bastou alterar a primeira letra de maiúsculo para minúsculo e toda a sequência foi alterada.

O próximo conceito, conforme a Figura 3, é o de bloco. Cada bloco conterá o valor do seu *hash*, que é calculado utilizando seus próprios dados em conjunto com dados do bloco anterior, o que garante que as informações não foram violadas. Por sua vez, o *nonce* consiste em um número auxiliar utilizado para realização do cálculo da função *hash* criptográfica. A mineração de bitcoins, por exemplo, consiste em encontrar valores de *nonce* que, em conjunto com os dados do bloco, retorne o valor correto do *hash*, tornando o bloco válido. Na simulação proposta, o valor de *nonce* que torna o bloco válido é 166488, ou seja, se introduzirmos um valor diferente, o *hash* resultante será inválido. Salienta-se que dois blocos diferentes podem possuir o mesmo dado no campo *nonce*, porém seus dados de transações não serão iguais (CHERVINSKI et al., 2019).

Figura 3 – Funcionamento do bloco

The figure displays two examples of a block mining interface. Each example consists of a form with the following fields:

- Bloco:** # 1
- Nonce:** 166488
- Dados:** Dinheiro
- Hash:** 0000f42c555916f0946a1c796db25ef7432fd094661f1a731f258ee95a7cc751
- Mineirar** button

The top example (green background) shows a valid hash starting with four zeros. The bottom example (pink background) shows an invalid hash starting with 'a6312f57462c04ce1:f330cf6e6f30437e00acbd31c556b8f7ca6d305a556t96', and the 'Mineirar' button is disabled.

Fonte: Adaptado de Brownworth (2019).

A *blockchain*, por sua vez, é um conjunto desses blocos. É a interligação entre eles que garante a segurança desse sistema. Conforme a Figura 4, é possível verificar que cada bloco possui o seu *hash* próprio e o *hash* do bloco anterior. Se for alterado o *hash* do bloco 2, por exemplo, todos os *hashs* dos blocos posteriores também serão alterados, dessa forma, a rede irá detectar a fraude. A única forma de corrigir os *hashs* inválidos, seria minerá-los novamente, fraudando todos os blocos posteriores, ou seja, quanto mais blocos existem nessa corrente, mais difícil alterá-lo. Assim, a tecnologia *blockchain* garante que nenhuma das partes possam adulterar os blocos sem serem detectadas (PIERRO, 2017).

Figura 4 – Funcionamento do *blockchain*

The figure displays four sequential blocks in a blockchain, each with a 'Minerar' button. The blocks are arranged in a 2x2 grid. The top row shows blocks 1 and 2, and the bottom row shows blocks 3 and 4. Each block has the following fields:

- Bloco:** A text box containing the block number (1, 2, 3, or 4).
- Nonce:** A text box containing a numerical value (11316, 35230, 12937, or 3599).
- Dados:** A text box containing data (empty for blocks 1 and 2, 'Fraude' for block 3, and empty for block 4).
- Prévio:** A text box containing the previous block's hash (empty for block 1, and the hash of the previous block for blocks 2, 3, and 4).
- Hash:** A text box containing the current block's hash, which starts with several zeros followed by a long alphanumeric string.

Fonte: Adaptado de Brownworth (2019).

Conforme a Figura 5, o próximo conceito abordado constitui nos *peers*, responsáveis por seu caráter distribuído. De acordo com Milojicic et al. (2002), o termo *peer-to-peer* (P2P) ou “ponto a ponto” refere-se a uma classe de sistemas e aplicativos que empregam recursos distribuídos para executar uma função de forma descentralizada. Constitui-se em uma forma de alavancar uma vasta quantidade de capacidade de computação, armazenamento e conectividade de computadores pessoais distribuídos em todo o mundo. No ambiente das criptomoedas, cada *peer* contém uma cópia de toda a *blockchain*, ou seja, milhares de computadores no mundo todo compartilham os dados entre si. Essa característica distribuída também auxilia na detecção de fraudes, assim, se alguém tentar alterar o bloco 2 do *peer* C, todos os blocos posteriores ficarão inválidos e mesmo que se minerasse novamente os blocos posteriores, a rede ficaria com 2 bancos de dados diferentes. Não importa quantos blocos tenham na corrente, basta olhar o último *hash* para perceber que aquele *peer* está diferente de todos os outros, tendo sido, portanto, fraudado.

Figura 5 – Funcionamento dos *peers*

Peer A

Bloco:	# 1
Nonce:	11316
Dados:	
Prévio:	00
Hash:	000015783b764259d382017d91a36d206d0600e2cbb3567748f46a33fe929
<input type="button" value="Mineirar"/>	

Bloco:	# 2
Nonce:	35230
Dados:	
Prévio:	000015783b764259d382017d91a36d206d0600e2cbb3567748f46a33fe929
Hash:	000012fa9b916eb9078f8d98a7864e697ae83ed54f5146bd84452cdafd043
<input type="button" value="Mineirar"/>	

Peer B

Bloco:	# 1
Nonce:	11316
Dados:	
Prévio:	00
Hash:	000015783b764259d382017d91a36d206d0600e2cbb3567748f46a33fe929
<input type="button" value="Mineirar"/>	

Bloco:	# 2
Nonce:	35230
Dados:	
Prévio:	000015783b764259d382017d91a36d206d0600e2cbb3567748f46a33fe929
Hash:	000012fa9b916eb9078f8d98a7864e697ae83ed54f5146bd84452cdafd043
<input type="button" value="Mineirar"/>	

Peer C

Bloco:	# 1
Nonce:	11316
Dados:	
Prévio:	00
Hash:	000015783b764259d382017d91a36d206d0600e2cbb3567748f46a33fe929
<input type="button" value="Mineirar"/>	

Bloco:	# 2
Nonce:	35230
Dados:	Fraude
Prévio:	000015783b764259d382017d91a36d206d0600e2cbb3567748f46a33fe929
Hash:	ce19ee695f5664f78d272e3909460edf092c72d96898d237d47e7d814e6da
<input type="button" value="Mineirar"/>	

Fonte: Adaptado de Brownworth (2019).

Na Figura 6, é possível verificar o funcionamento dos *tokens*, nos quais se inserem as moedas que utilizam *blockchain*. Conforme Buterin (2014), os *tokens* de *blockchain* podem representar uma ampla gama de ativos escassos, como moedas, títulos, propriedades, pontos de fidelidade, certificados, entre outros. Salienta-se que, nos *tokens*, há o mesmo registro de transações nos blocos de todos os *peers* espalhados pelo mundo. Caso alguém tente alterar um registro de transação, a rede identificará a incongruência dos dados, da mesma forma explicada no parágrafo anterior.

Figura 6 – Funcionamento dos *Tokens*

Peer A

Bloco: # 1

Nonce: 139358

Tx	Re\$	De:	->	
	25.00	Darcy	->	Bingley
	4.27	Elizabeth	->	Jane
	19.22	Wickham	->	Lydia
	106.44	Lady Catheri	->	Collins
	6.42	Charlotte	->	Elizabeth

Prévio: 00

Hash: 00000c52990ee86de55ec4b9b32beefd745d71675dc0eddffc7b88336e2e2

Mineirar

Bloco: # 2

Nonce: 39207

Tx	Re\$	De:	->	
	97.67	Ripley	->	Lambert
	48.61	Kane	->	Ash
	6.15	Parker	->	Dallas
	10.44	Hicks	->	Newt
	88.32	Bishop	->	Burke
	45.00	Hudson	->	Gorman
	92.00	Vasquez	->	Apone

Prévio: 00000c52990ee86de55ec4b9b32beefd745d71675dc0eddffc7b88336e2e2

Hash: 000078be183417844c14a9251ca246f15df1074019873f5d85c1a6f4311d

Mineirar

Peer B

Bloco: # 1

Nonce: 139358

Tx	Re\$	De:	->	
	25.00	Darcy	->	Bingley
	4.27	Elizabeth	->	Jane
	19.22	Wickham	->	Lydia
	106.44	Lady Catheri	->	Collins
	6.42	Charlotte	->	Elizabeth

Prévio: 00

Hash: 00000c52990ee86de55ec4b9b32beefd745d71675dc0eddffc7b88336e2e2

Mineirar

Bloco: # 2

Nonce: 39207

Tx	Re\$	De:	->	
	97.67	Ripley	->	Lambert
	480.61	Kane	->	Ash
	6.15	Parker	->	Dallas
	10.44	Hicks	->	Newt
	88.32	Bishop	->	Burke
	45.00	Hudson	->	Gorman
	92.00	Vasquez	->	Apone

Prévio: 00000c52990ee86de55ec4b9b32beefd745d71675dc0eddffc7b88336e2e2

Hash: 0144878827ab181b6228f7db212770f548a0bcd8caadfc6b93eef0001cfc8

Mineirar

Fonte: Adaptado de Brownworth (2019).

Por fim, a última simulação, conforme Figura 7, consiste nas transações de criptomoedas. Conforme Tapscott e Tapscott (2016), uma das características da blockchain é seu caráter histórico, ou seja, ela pode guardar todas as transações efetuadas, de forma que para alterar uma transação seria necessário alterar todas as transações posteriores. Assim, é possível verificar se determinada carteira possui, de fato, a quantia necessária para a transferência realizada. Neste exemplo, Ryan enviou 4 moedas para Riley e 6 moedas para Carter no bloco 5. É possível verificar que Ryan possuía essas 10 moedas pois, no bloco 4, ele recebeu 15 moedas de Jackson. Da mesma forma vista anteriormente, caso alguém tente fraudar algum desses valores, a rede identificará.

Figura 7 – Transações de criptomoedas

Peer A

The figure displays five transaction blocks from a blockchain, labeled Bloco #1 to Bloco #5. Each block contains the following information:

- Bloco:** A number in a box (e.g., # 1, # 2, # 3, # 4, # 5).
- Nonce:** A unique value for each block (e.g., 16651, 215458, 146, 18292, 108899).
- Coinbase:** Transaction details including amount and recipient (e.g., R\$ 100.00 to Anders).
- Tx:** A list of transactions with sender and receiver names (e.g., R\$ 10.1 from Andi to Sopl, R\$ 20.1 from Andi to Luci).
- Prévio:** The previous block's hash (e.g., 0000438d7625b85af366545b1929975a0d3f).
- Hash:** The current block's hash (e.g., 0000438d7625b85af366545b1929975a0d3f).
- Minerar:** A blue button at the bottom of each block.

Fonte: Adaptado de Brownworth (2019).

Em suma, é virtualmente impossível fraudar valores, pois a *blockchain* mantém um saldo histórico e sua matemática é exata. Qualquer pessoa pode ter o registro das transações de toda a *blockchain*, o que possibilita a visualização das transações desde a origem daquela moeda. Além disso, cada vez que uma transação é realizada, os computadores da rede verificam se ela é válida. Em caso positivo, ela será verificada e incluída em um bloco, junto das demais transações. Quando esse bloco é minerado, ele ganha um *hash* de valor único e imutável. Conforme as transações ocorrem, novos blocos juntam-se à corrente. Assim, a corrente de blocos, ou *blockchain*, garante que nenhuma parte que armazena esse histórico pode interferir nele sem ser detectado (PIERRO, 2017).

2.1.3 Mecanismos de Consenso

As criptomoedas utilizam mecanismos de consenso, procedimentos através do qual todos os pares da rede *blockchain* chegam a um acordo comum sobre o estado atual do livro contábil distribuído.

2.1.3.1 Proof of work

Ao criar o Bitcoin, Satoshi Nakamoto precisava encontrar uma maneira de verificar as transações sem a necessidade de usar um terceiro, para isso ele criou o sistema de *proof of work*, ou prova de trabalho, em tradução livre. Essencialmente, a *proof of work* é utilizada para determinar como a *blockchain* atinge o consenso, ou seja, a certeza de que a transação é válida.

A mineração é essencial para o funcionamento de criptomoedas *proof of work* como o Bitcoin. Esse processo consiste no trabalho realizado por pessoas (que trabalham individualmente, em conjunto com outros mineradores ou até mesmo formando uma empresa especializada em mineração) que utilizam um ou mais computadores para processar os dados emitidos pelos usuários do Bitcoin, por meio de resoluções de problemas matemáticos (FRANCO; BAZAN, 2018). O processo recebe esse nome pois, assim como ocorre na mineração de pedras preciosas, a recompensa se torna cada vez menor ao longo do tempo (ANTONOPOULOS, 2016).

Esse processo se dá por meio da resolução de quebra-cabeças criptográficos que exigem da capacidade de processamento de computadores para serem resolvidos, gerando provas de trabalho que previnem a alteração de transações anteriores e mantêm a integridade do sistema (KWON et al., 2017). No momento em que algum minerador soluciona a operação de codificação e consegue autenticar o bloco, recebe uma recompensa em uma determinada quantidade fracionada de Bitcoin, ou outra criptomoeda, e os outros usuários da rede conseguem notificar o devido resultado correto (HEID, 2014).

Cada novo bloco de bitcoin é produzido a cada 10 minutos, em média, sendo regulado por um algoritmo que dificulta a mineração à medida que mais mineradores se juntam. Quando um bloco é descoberto, o minerador pode conceder a si mesmo um certo número de bitcoins, que é acordado por todos na rede. Inicialmente, em 2009, a recompensa dada por cada novo bloco gerado era de 50 bitcoins e esse valor é dividido pela metade a cada 210.000 blocos, o que o fez cair para 25 em 2012 e 12,5 em 2016. Este processo se repetirá até alcançar o limite máximo de bitcoins, estipulado pelo seu criador em 21 milhões de unidades (COINTIMES, 2020).

Além disso, o minerador recebe as taxas pagas pelos usuários que enviam transações. A taxa é um incentivo para o minerador incluir a transação em seu bloco. Como a recompensa diminui conforme a quantidade de blocos, espera-se que uma taxa de transação mais alta por si só seja um incentivo necessário e suficiente para que os mineradores continuem trabalhando no futuro (BITCOIN MINING, 2020). Nesse sentido, Antonopoulos (2014) destaca que até

meados de 2140 todos os Bitcoins já terão sido minerados e a renda será exclusivamente sobre as transações, que crescerão exponencialmente ao passar dos anos. Atualmente há um gargalo nas transações, uma vez que são realizadas mais transações do que a capacidade do bloco de incluir transações na rede. Isso faz com que os mineradores deem prioridade àquelas que oferecem maior remuneração, assim, as transações de menor valor terão que esperar mais para serem efetivadas.

Devido à forma como o quebra-cabeça criptográfico é criado, a única maneira de resolvê-lo é através de tentativa ou erro. De um modo geral, quanto mais potente for o *hardware*, mais chances o minerador tem de resolver o quebra-cabeça primeiro. Uma das maiores críticas ao *proof of work* é que nem todos os mineradores recebem uma recompensa. Milhares de mineradores competem para se tornarem os primeiros a resolver o algoritmo criptográfico e ganharem as recompensas. Essa questão levanta dúvidas sobre não ser um sistema justo, porque aqueles com os dispositivos de *hardware* mais poderosos e caros terão a maior chance de ganhar recompensas. Além disso, a *proof of work* precisa de quantidades significativas de eletricidade e é bastante limitada no número de transações que pode processar ao mesmo tempo.

Muitas outras *blockchains* copiaram o código original do Bitcoin e também utilizam o modelo de *proof of work*.

2.1.3.2 Proof of stake

Como resposta às limitações apresentadas pelo *proof of work*, outros mecanismos de consenso foram criados, sendo um dos mais populares o modelo gerado pelos desenvolvedores King e Nadal (2012), nomeado de *proof of stake*, ou prova de participação, em tradução livre. De acordo com Saleh (2020), a *proof of stake* substitui a concorrência da *proof of work* ao selecionar aleatoriamente as partes interessadas para anexar à *blockchain*. O sistema ainda utiliza um algoritmo criptográfico, mas é baseado na quantidade de moedas que a pessoa possui da *blockchain* específica que está tentando minerar. Tecnicamente falando, as pessoas não estão realmente minerando, dessa forma, elas são chamadas de cunhadoras.

Para ter a oportunidade de validar transações, o usuário deve colocar suas moedas em uma carteira específica, na qual elas serão congeladas. A maioria das *blockchains* que utilizam *proof of stake* possuem um requisito mínimo de moedas necessárias para iniciar esse processo. Além disso, a probabilidade de sucesso (ganhar a recompensa) pode ser influenciada pela quantidade de moedas que o usuário possui (MAEHARA et al., 2019). Se, por exemplo, a

blockchain tiver um total de 1000 moedas em circulação e o usuário colocar 100 moedas na carteira, ele terá 10% de chance de ganhar cada recompensa.

Ou seja, enquanto a *proof of work* exige que todos os mineradores tentem resolver uma equação complexa, na qual aquele com um *hardware* mais poderoso tem mais chances de ganhar, a *proof of stake* escolhe aleatoriamente o vencedor com base na quantidade de moedas que ele colocou para validar as transações. A teoria mais forte para apoiar o mecanismo da *proof of stake* é que aqueles que colocam as suas próprias moedas vão querer ajudar a manter a rede segura, agindo corretamente. Se um cunhador tentasse “hackear” a rede ou processasse transações maliciosas, perderia toda a sua participação (KING, 2020).

O primeiro projeto *blockchain* a utilizar o modelo de *proof of stake* foi o Peercoin e os benefícios iniciais incluem um sistema de mineração considerado mais justo e igualitário, transações mais escalonáveis e menos dependência de eletricidade. Como resultado da aceitação do mecanismo, a *Ethereum*, segunda criptomoeda mais popular do mundo, está no processo de troca da *proof of work* para a *proof of stake*.

2.1.4 A ascensão do Bitcoin

Ao longo das últimas décadas aconteceram algumas tentativas de criação de moedas virtuais. Em 1989 foi criado o *Digicash*, o qual foi vendido e utilizado apenas por bancos, e posteriormente, foram criados *Hashcash*, *E-gold* e *Bitgold* (STRÜCKER, 2020). Entretanto, essas ideias não foram bem-sucedidas em larga escala, até que, em 2008, Satoshi Nakamoto desenvolveu o Bitcoin. De acordo com Ulrich (2014) essa moeda virtual foi construída com a contribuição de diversos especialistas e se inspirou nos projetos que não haviam obtido muito sucesso. Nakamoto (2008) integrou as principais qualidades de cada um deles, e desenvolveu o que restava para sua conclusão.

A primeira transação do *Bitcoin* foi realizada em 3 de janeiro de 2009 e consistiu no envio de *Bitcoins* de Satoshi Nakamoto para Hal Finney. A partir desse momento, o sistema estava oficialmente funcionando e pronto para ser utilizado (ULRICH, 2014). De acordo com Gregersen (2018) o Bitcoin é considerado a primeira criptomoeda descentralizada, cuja tecnologia consiste na *blockchain*.

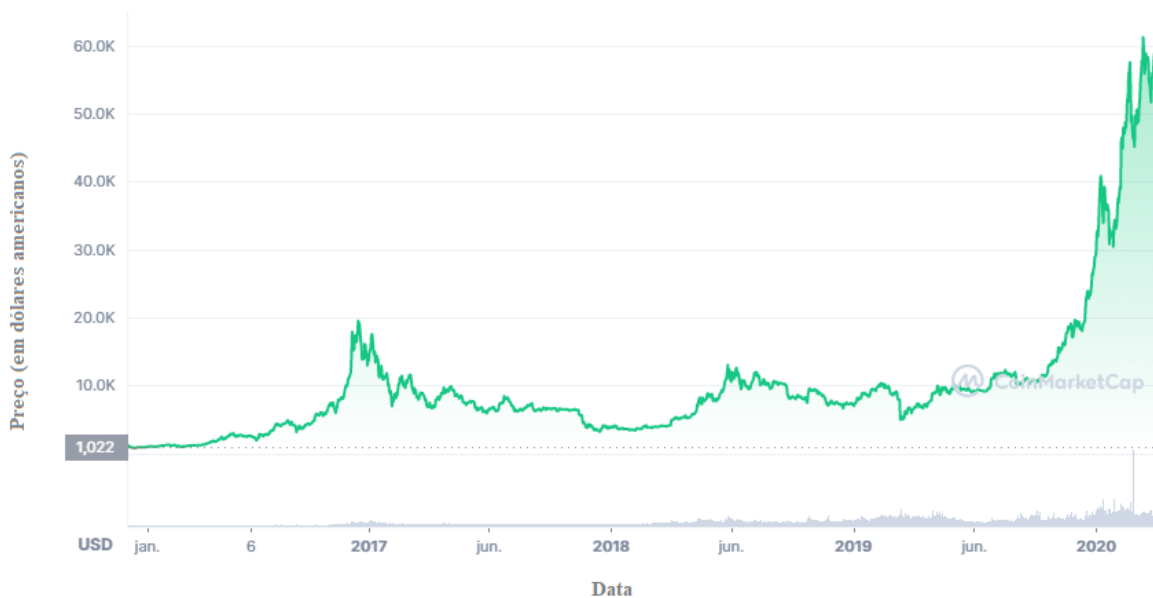
Os *Bitcoins* são produzidos a partir do processo de mineração e têm uma oferta limitada (estimada pelo seu algoritmo em 21 milhões de *Bitcoins*). Ele pode ser dividido em 8 casas decimais, sendo que 1 *Satoshi* é a menor fração que pode ser enviada atualmente, ou seja, 0,00000001 *Bitcoins* é igual a 1 *Satoshi* (LEIBOWITZ, 2020). Segundo Ulrich (2014), os

principais motivos que levaram à criação do Bitcoin foram os avanços na área tecnológica e também as grandes crises econômicas causadas por sistemas financeiros que possuíam um alto grau de desconfiança e intervenção por parte do estado.

Além disso, é importante frisar que o Bitcoin atende às principais necessidades intrínsecas relacionadas ao conceito de moeda, que incluem inalterabilidade, homogeneidade, divisibilidade, transferibilidade e a questão do seu manuseio e transporte (LOPES; ROSSETTI, 2005).

O *Bitcoin* foi rapidamente aceito no mundo financeiro, atraindo a atenção de muitos investidores, principalmente pela facilidade de entrada no mercado e por suas altas cotações veiculadas nas grandes mídias. A primeira transação de Bitcoin foi executada com uma pequena taxa de 1 dólar por 1.309,03 Bitcoins e, no final de março de 2021, conforme o Gráfico 1, o preço de 1 *Bitcoin* ultrapassou o valor de 59 mil dólares.

Gráfico 1 – Preço do *Bitcoin* de janeiro de 2017 a março de 2021 em dólares americanos



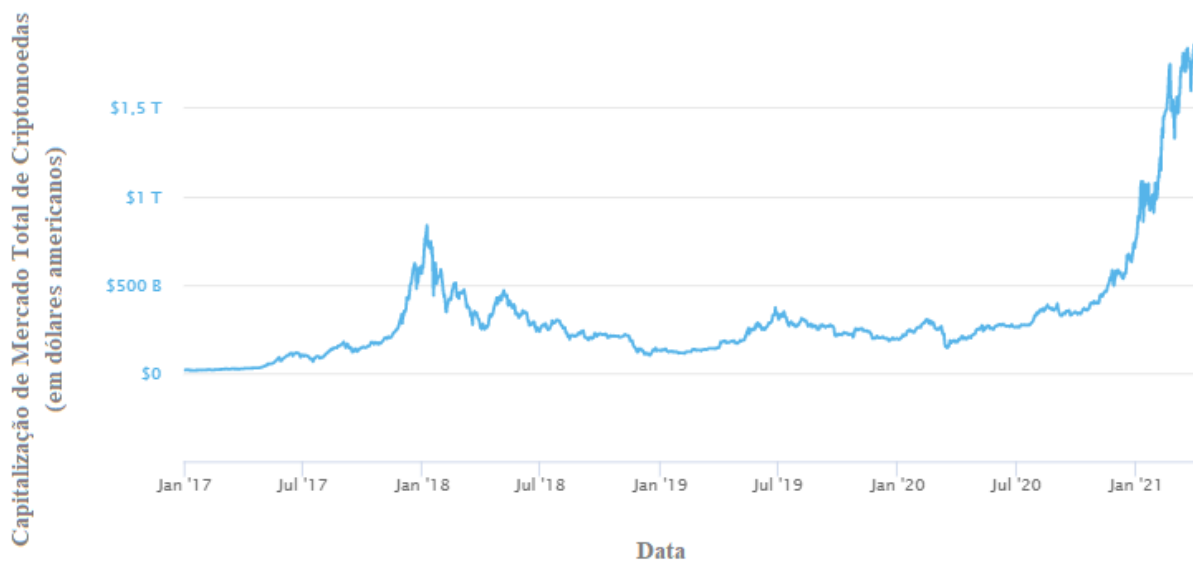
Fonte: Adaptado de Coinmarketcap (2021).

Salienta-se que o Bitcoin tem sido a criptomoeda mais madura e reconhecida mundialmente (ZIEBA; KOKOSZCZYNSKI; SLEDZIEWSKA, 2019), possuindo, em novembro de 2021, cerca de 42% de participação em todo o mercado de criptomoedas, o que representa mais de 1 trilhão de dólares (COINMARKETCAP, 2021).

2.1.5 A expansão das criptomoedas

Ao longo dos anos, o valor de mercado e a quantidade de criptomoedas aumentaram rapidamente. De acordo com o Coinmarketcap (2021), atualmente, existem mais de 14 mil moedas virtuais, sendo que entre as moedas de maior capitalização de mercado estão o Bitcoin, Ethereum, Ripple, Litecoin e Stellar. Conforme o Gráfico 2, a capitalização total do mercado de criptomoedas no final de janeiro de 2017 foi de US\$ 18 bilhões, tendo ultrapassado US\$ 1,8 trilhões em março de 2021. Além disso, verifica-se que o Gráfico 1, apresentado no tópico anterior e que representa o comportamento do preço do Bitcoin, é bastante similar ao Gráfico 2, que demonstra a evolução da capitalização de mercado total de criptomoedas.

Gráfico 2 – Capitalização de mercado total de criptomoedas de janeiro de 2017 a março de 2021 em dólares americanos



Fonte: Adaptado de Coinmarketcap (2021).

Além do *Bitcoin*, o estudo focará nas seguintes criptomoedas, introduzidas de maneira resumida neste tópico, devido, principalmente, à escassa produção científica em contraste com o Bitcoin:

a) *Ethereum* (ETH)

De acordo com Hirai (2017), a *Ethereum* foi criada por Vitalik Buterin em 2013 e consiste em uma plataforma em *blockchain* de codificação aberta que executa os contratos inteligentes de criptomoedas. O contrato inteligente da *Ethereum* é público e não é atualizável. A maioria das aplicações (leilões, mercados de previsão, identidade/reputação, etc.) envolvem contratos inteligentes, gerenciando fundos ou autenticando entidades externas. Nesse ambiente, o código deve ser confiável.

Para sequenciar transações, a *Ethereum* adotou um design inspirado no consenso de Nakamoto e no protocolo GHOST (SOMPOLINSKY; ZOHAR, 2015). A *Ethereum* utiliza uma regra de seleção de cadeia para aproveitar a energia de mineração residual de blocos para maior segurança. O protocolo inclui esses blocos, chamados tios, em sua *blockchain* e recompensa os mineradores correspondentes (WOOD, 2014).

Salienta-se que a *Ethereum* possui, em novembro de 2021, a segunda maior participação no mercado de criptomoedas, com aproximadamente 19% e US\$ 499 bilhões. Além disso, passou pelo processo de troca de seu mecanismo de consenso de *proof of work* para a *proof of stake* (COINMARKETCAP, 2021).

b) *Ripple* (XRP)

O *Ripple* foi criado por Chris Larsen e Jed McCaleb, e foi uma das primeiras criptomoedas que não foram desenvolvidas com base no protocolo *Bitcoin*. Possui uma fonte aberta, *peer-to-peer*, entretanto é centralizada pela empresa. O *Ripple* foi projetado principalmente para servir como meio de troca e como sistema de pagamento distribuído. Ele possui alta conversibilidade e permite que usuários negociem metais preciosos como ouro e prata, outras criptomoedas, moedas como o dólar americano e a libra, entre outros. Essa flexibilidade adicional faz do *Ripple* um forte potencial rival ao *Bitcoin* (FRY; CHEAH, 2016).

Essa criptomoeda teve seu fornecimento máximo estipulado em 100 bilhões de XRP (DOWD, 2014) e alcançou uma penetração significativa no mercado. Em novembro de 2021, a quantidade de *Ripple* em circulação é aproximadamente de 47 bilhões de moedas, além disso, possui mais de US\$48 bilhões em capitalização de mercado (COINMARKETCAP, 2021).

c) *Litecoin* (LTC)

O *Litecoin* foi criado em outubro de 2011 por Charles Lee e, segundo Tu e Xue (2018), surgiu como substituto do *Bitcoin* ao apresentar uma versão modificada de seu algoritmo de confirmação de transação. As principais diferenças são que o tempo de geração do bloco diminuiu em média de 10 minutos para 2,5 minutos por bloco e o limite máximo de *Litecoin* em circulação é de 84 milhões, quatro vezes maior que o *Bitcoin*, além disso, a adoção de *hashing* apresenta um algoritmo diferente.

De acordo com Padmavathi e Suresh (2018), o *Litecoin* consiste em um protocolo de moeda digital criptográfico *peer-to-peer*, mantido eletronicamente no qual as taxas de transação são muito baixas e não utiliza a ajuda de nenhuma organização financeira. Sua capitalização de mercado, em novembro de 2021, obteve a marca de US\$14 bilhões (COINMARKETCAP, 2021).

d) *Stellar* (XLM)

Stellar foi concebida em 2014 por McCaleb e Kim e lançada em abril de 2015 pela *Stellar Development Foundation*, com a missão de aumentar o acesso a serviços financeiros a baixo custo, buscando reduzir a pobreza e maximizar o potencial individual. *Stellar* proporciona a transferência de pagamentos menores, tornando-se uma ótima candidata para sistemas de micropagamentos (QIU, 2019).

De acordo com Lokhava et al. (2019), a principal inovação é o seu protocolo, chamado SCP, no qual cada instituição especifica outras instituições com as quais deseja permanecer de acordo. Através da interconectividade global do sistema financeiro, toda a rede concorda com as operações, sem risco de solvência ou cambio de emissores intermediários de ativos ou formadores de mercado. Ou seja, ela conecta organizações financeiras e pessoas para fornecer transferências de pagamento transfronteiriços de custo extremamente baixo em segundos. Salienta-se que a *Stellar* possui, em novembro de 2021, US\$7,9 bilhões em capitalização de mercado (COINMARKETCAP, 2021).

2.1.6 Negociação no mercado das criptomoedas

As criptomoedas podem ser adquiridas através da mineração ou processos similares, recebidas como forma de pagamento por algum produto ou serviço, ou compradas diretamente

de alguém que já as possui, usando moeda tradicional. Salienta-se que o preço das criptomoedas é completamente determinado pelo mercado. A maneira mais segura de comprar criptomoedas é através da criação de uma conta em uma corretora que realizará a intermediação entre duas pessoas: uma que quer comprar e outra que quer vender. Isso torna as negociações mais seguras e rápidas. Depois da abertura da conta, deve ser realizado um depósito em dinheiro, que após confirmado e creditado, estará disponível para ser trocado pela criptomoeda. A maioria das corretoras tem um sistema de compra fácil, que permite que ela seja feita em um ou dois cliques, como no caso da *Foxbit* (COINTIMES, 2020).

Entretanto, antes de qualquer tipo de negociação, é necessária uma carteira, que possui um endereço associado e funciona como uma conta bancária na qual o objetivo é manter os fundos armazenados em segurança, monitorar seu saldo e enviar e receber a criptomoeda. As carteiras podem ser divididas em quentes e frias. As carteiras quentes são usadas para transações frequentes e normalmente mantêm apenas pequenas quantidades de criptomoeda. Por outro lado, as carteiras frias, são usadas para armazenamento seguro a longo prazo e normalmente possuem grandes quantias que não devem ser manipuladas com frequência. Geralmente, as carteiras quentes permanecem conectadas à internet para serem prontamente utilizadas, enquanto as carteiras frias só são conectadas à internet para fazer transações, diminuindo a probabilidade de os fundos de um usuário serem roubados por um *hacker* (SHARMA, 2017).

Tomando como exemplo as carteiras de Bitcoin, qualquer pessoa pode tê-las instalando um aplicativo cliente conectado à rede. Em vez de ter uma conta bancária mantida por uma autoridade central, cada usuário tem um endereço *Bitcoin*, que consiste em um par de chaves, uma pública e uma privada. *Bitcoins* existentes estão associados à chave pública de seu proprietário e os pagamentos devem ser assinados pelo proprietário usando sua chave privada. Para manter a privacidade, um único usuário pode usar vários endereços (KONDOR et al., 2014).

Nadeem (2017) explica que sempre que um usuário envia *Bitcoins* de sua carteira para outra, a transação é adicionada ao *pool* de memória, que é um *pool* de todas as transações não confirmadas na rede Bitcoin. Esse *pool* é mantido por *pools* de memória individuais em máquinas que também mantêm uma cópia do livro-razão da *blockchain*. No *pool* de memórias, os mineradores selecionam as transações que desejam verificar. Depois que os mineradores validam uma transação, eles a adicionam a um novo bloco, que é finalmente publicado na *blockchain*. Outros nós repetem as transações desse bloco recém-publicado para garantir que ele seja válido, antes de aceitá-lo como parte de seu livro-razão. Na Figura 8, verifica-se o ciclo de vida de uma transação entre duas carteiras de Bitcoin, na qual João envia 1 BTC para Maria.

Figura 8 – Ciclo de vida da transação do *Bitcoin*

Fonte: Adaptado de Ankalkoti, Prashant e Santhosh (2017).

Como a rede adiciona, em média, um novo bloco ao livro-razão a cada 10 minutos, com um bloco tendo um limite máximo de 1 *Megabyte* (ou 1.000.000 de *Bytes*), haverá um limite de quantas transações a rede pode manipular a cada 10 minutos. Esse limite foi definido por Nakamoto (2008) para impedir ataques de negação de serviço (DoS). Ou seja, se o tamanho médio de uma transação de *Bitcoin* for 250 *Bytes*, pode haver um máximo de 4.000 transações para cada bloco adicionado.

Além disso, 4.000 transações a cada 10 minutos oferecem à rede uma capacidade de 6,66 transações a cada segundo. Quando a demanda de transações excede a capacidade da rede, o remetente das transações com a maior taxa pode esperar que suas transações sejam anexadas primeiro ao bloco, ou seja, via de regra, o valor da taxa interfere diretamente na rapidez com que a operação será concluída, sendo calculada a partir do espaço que aquela transação ocupará em cada bloco (NADEEM, 2017).

O cálculo da taxa de transação de bitcoins é mensurado por *Satoshis* por *byte* de dados ou *sat/byte*, sendo que um *Satoshi* é a menor fração de um *Bitcoin*, que em sua unidade é composto por 100.000.000 *Satoshis*. Ou seja, o envio de 10 ou 1.000 *Bitcoins* pode ter o mesmo valor de cobrança referente à taxa de transação, pois as pessoas não pagam pelo valor e sim pela quantidade de dados do bloco (FOXBIT, 2017).

De acordo com Ali e Arnesen (2018), a taxa média de transação entre maio de 2013 e março de 2018 para Bitcoins que foram enviadas entre dois endereços foi de US\$ 1,53. No entanto, as taxas de transação e os preços do Bitcoin chegaram a um pico de cerca de US\$ 56,7 e US\$ 19.476, respectivamente, em dezembro de 2017. Conforme os autores, um problema potencial com a implementação completa do Bitcoin como uma moeda viável é que o custo da transação pode ser superior ao seu valor. Esse tem sido o motivo da insatisfação de muitos investidores, que chegam a pagar até 40% do valor de suas transações apenas em taxas. Essa questão pode prejudicar seu fluxo de mercado, principalmente na realização de micro pagamentos. Portanto, é importante ficar atento a essas variações, recorrendo, por vezes, a outras alternativas de moedas digitais a depender do objetivo e do valor da transação.

Em novembro de 2021, a quantidade de Bitcoins em circulação atingiu a marca de 18,8 bilhões de BTC. Salienta-se que o Bitcoin tem sido a criptomoeda mais madura e reconhecida mundialmente (ZIEBA; KOKOSZCZYNSKI; SLEDZIEWSKA, 2019), possuindo aproximadamente 42% de participação em todo o mercado de criptomoedas, o que representa mais de 1 trilhão de dólares (COINMARKETCAP, 2021). Um estudo de Hileman e Rauchs (2017) estimou que 10 milhões de pessoas possuíam uma quantidade material de Bitcoins como ativo financeiro. Além disso, existiam aproximadamente 10.467 de nós globais ativos de *Bitcoins*, cada um contendo uma cópia completa da *blockchain*.

2.1.7 Vantagens e desvantagens das criptomoedas

Ao considerar a utilização das criptomoedas, é importante ponderar suas vantagens e desvantagens. Uma das vantagens consiste em sua natureza diferente da moeda convencional, como o real, o dólar e o euro, que são altamente dependentes das condições econômicas globais e do estado, como inflação, crises, políticas, entre outras. Além disso, por não se tratar de uma moeda física, elimina-se o custo de produção de notas ou moedas. Em decorrência dessas características, moedas virtuais tem um baixo relacionamento com ativos tradicionais, sendo consideradas bons ativos alternativos para os investidores, funcionando como refúgio (ANDRIANTO; DIPUTRA, 2017).

Outras vantagens seriam as taxas de transação mais baixas, capacidade de movimentação com maior liberdade e agilidade para realizar transações a qualquer momento e para qualquer pessoa em todo o mundo. Além disso, é provável que seja um dos meios de troca mais transparentes do mundo, pois qualquer um pode ter acesso ao saldo das estatísticas e aos códigos de uso. Suas características fazem com que elas não possam ser manipuladas por

governos ou instituições financeiras. O poder cedido às instituições financeiras no caso das moedas tradicionais é visto por alguns pesquisadores como perigoso, visto que toda a economia fica dependente de suas decisões, o que se torna preocupante, principalmente quando ocorre como por exemplo a crise de 2008, efetivada por decisões equivocadas das instituições financeiras (FRANCO; BAZAN, 2018; SIMSER, 2015).

Além disso, o gerenciamento descentralizado traz algumas vantagens de segurança em relação ao gerenciamento centralizado, que sempre foi predominante nas formas de pagamento, seja para transações de cartão de crédito ou quaisquer outras transferências. A natureza do protocolo de criptomoedas de código aberto não permite desvantagens tradicionais, como estornos ou gastos duplicados, devido ao uso de chaves de criptografia assinadas, mitigando efetivamente o perigo de haver fraude. Essa diminuição de riscos é benéfica tanto para os comerciantes e consumidores, quanto para os investidores por evitar fraudes, estornos e cobranças indesejadas (HEID, 2014).

Nesse sentido, o fato de ter uma oportunidade de desvincular seu dinheiro de um sistema financeiro centralizado, dependente de um governo burocrático e de bancos influentes com alto poder econômico, vem trazendo mais atratividade para os ativos de criptomoedas. A natureza descentralizada do protocolo de codificação aberta garante que o controle da rede permaneça nas mãos dos próprios usuários. As transações financeiras dependem dos participantes na rede, e o usuário é o responsável pela segurança de suas próprias finanças e dados. Dessa forma, não há necessidade de confiar em terceiros, como instituições bancárias (AMETRANO, 2016).

Outro ponto positivo consiste na criptografia utilizada no funcionamento dessas modas. Conforme Simser (2015), cada proprietário possui duas chaves, uma pública e outra privada, sendo que aquele que irá receber as criptomoedas envia sua chave pública para aquele que irá enviá-las, este por sua vez adiciona sua chave privada para que as criptomoedas sejam transferidas eletronicamente. Portanto, a chave pública pode ser divulgada sem medo pois através dela é possível verificar que a carteira existe, bem como todas as transações das quais ela participou, entretanto, para transferir valores, é necessária sua chave privada, que não será divulgada. Essas duas chaves são utilizadas para encriptar a transação em um bloco de texto, o *hash*, com todas as negociações já realizadas na *blockchain*, sendo transmitido para todos os computadores da rede. Esses computadores realizam cálculos matemáticos para garantir que a transação é válida e aquela criptomoeda não foi utilizada mais de uma vez ao mesmo tempo. Após conferência e validação, a transação é adicionada na *blockchain* e propagada na rede, ficando, assim, armazenada em todos os computadores participantes.

Outro ponto a ser mencionado, está na dificuldade em fraudar o sistema. Conforme Martins (2018), a alteração de uma transação já inserida na *blockchain* exigiria do usuário poder de processamento superior ao somatório do poder de processamento de toda a rede global de mineradores, assim, um registro inserido na *blockchain* é considerado imutável. Ou seja, para falsificar uma transação dentro da *blockchain*, é necessário que o usuário altere todos os registros de mais da metade da rede. De maneira contrária, mesmo que ele altere as informações contidas nos seus computadores, os demais usuários irão checar a transação, não irão validá-la e a transação falsa não será incorporada ao bloco.

Assim, é possível controlar, também, o problema do gasto duplo, ou seja, garantir que um usuário só pode gastar suas criptomoedas uma vez. Esse problema não é encontrado quando utilizamos dinheiro físico pois sua própria natureza assegura que ele será utilizado apenas uma vez pela mesma pessoa ao mesmo tempo. Entretanto, quando se utilizam meios de pagamento digitais, é necessário garantir que o usuário não consiga prometer o mesmo crédito para mais de uma pessoa. No caso do bitcoin, quando uma transação é postada publicamente, os usuários da rede a verificam e criam um carimbo de data e hora que se torna parte da codificação desse bitcoin específico, o que significa que não pode ser duplicado ou gasto mais de uma vez (SIMSER, 2015).

Em decorrência disso, a *blockchain* gera uma economia de custos em relação aos sistemas bancários. Por exemplo, na realização de uma compra de um sapato de R\$ 100 em uma loja utilizando o cartão de débito, é necessária a existência de órgãos como bancos, operadoras de cartão e diversos intermediários que garantam que a conta realmente possua esse saldo e que esses R\$ 100 estão sendo gastos somente nessa loja para comprar esse sapato. Essas autoridades avaliam se as transações realizadas são válidas, aprovando ou rejeitando-as e trabalham no sentido de controlar e auditar essas movimentações financeiras.

Assim, para realizar essa confirmação, são necessários esforços que geram custos para os intermediários e são repassados para os usuários. Ou seja, os R\$ 100 reais deverão custear não somente o sapato, mas também os encargos financeiros da operação. Logo, acabamos pagando mais do que o produto custaria para ter essa validação realizada por um mediador. A *blockchain* remove esse problema ao não necessitar da intermediação de nenhum órgão, visto que a própria rede se encarrega dessa tarefa. Por sua vez, ao remover a necessidade de intermediários, os custos reduzem e possibilitam que o dinheiro possa transitar com menores taxas entre as pessoas (GIONGO; BALESTRO, 2019).

Salienta-se, também, a boa aceitação das criptomoedas no mundo financeiro, atraindo a atenção de muitos investidores. Algumas empresas, inclusive, já começaram a receber

pagamentos através de *Bitcoin* (RUSSO, 2017). Além disso, as pesquisas apontam que sua inclusão em um portfólio diversificado, mostra-se bastante lucrativa (EISL et al., 2015; HALABURDA; GANDAL, 2014).

Em uma visão mais ampla, Brito e Castillo (2013) acrescentam que as criptomoedas, como o Bitcoin, podem incentivar a inovação financeira por permitir que programadores desenvolvam, a partir do projeto inicial, novas funcionalidades. E, ainda, ajudar a combater a pobreza e opressão em situações que não haja sistema bancário tradicional devido à falta de infraestrutura na região ou que existam motivos legítimos para recorrer a um modo com mais privacidade para realizar transações financeiras, como pessoas que estejam evitando seus parceiros abusivos.

Outro ponto importante, destacado por Antonopoulos (2014), é de que o protocolo está disponível como software de código aberto e pode ser executada em uma ampla gama de dispositivos, como laptops e smartphones, tornando a tecnologia facilmente acessível. Além disso, os usuários podem transferir moedas pela rede para fazer quase tudo que pode ser feito com moedas convencionais, como comprar e vender mercadorias, enviar dinheiro para pessoas ou organizações ou negociar crédito. Essa facilidade de movimentação pode propiciar a quebra de barreiras impostas por instituições no acesso ao sistema bancário tradicional. Assim, as criptomoedas têm o potencial de atender bilhões de pessoas ao redor do mundo que não podem ou querem utilizar o sistema bancário centralizado, seja por motivos pessoais, de segurança, econômicos ou políticos.

Por outro lado, alguns autores citam desafios para a utilização das criptomoedas. Para Mota (2019) o grau de aceitação por parte das pessoas ainda é baixo, além disso, há uma grande volatilidade dos preços do mercado de criptomoedas. Outra preocupação seria a utilização das moedas digitais em atividades ilegais. Foley, Karlsen e Putniņš (2019) apontam que cerca de 25% de todos os usuários do Bitcoin já se associaram à algum tipo de atividade fora da lei, que normalmente envolve transações em mercados da *darknet*. De acordo com Silveira (2020), existe grande preocupação quanto ao uso dessas moedas para atividades ilegais, como operações de lavagem de dinheiro, evasão fiscal e fraude, o que tem se tornado cada vez mais relevante entre os entes reguladores.

As questões jurídicas relacionadas às criptomoedas ainda são recentes, sendo que a primeira regulação específica no Brasil foi a Instrução Normativa nº. 1.888, de 3 de maio de 2019, a qual “institui e disciplina a obrigatoriedade de prestação de informações relativas às operações realizadas com criptoativos à Secretaria Especial da Receita Federal do Brasil”

(BRASIL, 2019). Portanto, verifica-se um esforço jurídico em regulamentar a utilização das moedas virtuais, corrigindo lacunas na lei, relacionadas a sua má utilização.

Outro ponto a ser melhorado, consiste na eficiência energética das criptomoedas. Conforme a *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index* (2021), a mineração de Bitcoin consome cerca de 130,9 terawatt-horas (TWh) por ano. Se fosse um país, ele estaria em 28º lugar no consumo global de energia, superando países como a Argentina (125,03 TWh), Holanda (110,68 TWh), Emirados Árabes (119,46 TWh) e Noruega (124,13 TWh). O aumento do poder computacional tornou a rede mais robusta, entretanto seu desperdício deve ser evitado, a fim de ampliar sua capacidade de realizar transações da maneira mais eficiente possível. Em suma, as criptomoedas trouxeram grandes avanços, entretanto, há melhorias a serem realizadas.

2.1.8 Desmistificando as criptomoedas

Uma das motivações deste estudo, consiste na desmistificação de possíveis crenças relacionadas às criptomoedas, que prejudicam a aceitação desses ativos por parte dos investidores e demais usuários. Ao logo do trabalho, é possível que muitas crenças tenham sido desmentidas, entretanto, neste tópico específico, serão enfatizados alguns pontos.

Uma das principais crenças desmentidas no estudo é de que as criptomoedas não são legais. Como visto anteriormente, as criptomoedas são legais e reconhecidas pela Receita Federal, no momento da tributação (BRASIL, 2019). Outra crença é de que elas não são seguras, tendo em vista que não existe instituição que as verifique. De fato, nenhuma organização tem poder para controlar as redes que sustentam as criptomoedas. Entretanto, é essa impossibilidade que as tornam tão seguras, visto que ninguém consegue manipular seus dados, pois estão espalhados em computadores de usuários ao redor do mundo, através da tecnologia *blockchain* (TAPSCOTT; TAPSCOTT, 2016).

Outro mito é de que seria fácil ganhar muito dinheiro através das criptomoedas. Assim como as ações de empresas, elas são consideradas como ativos de renda variável. Existem diversas maneiras de ganhar dinheiro com criptomoedas, como mineração ou negociação, entretanto, não há nenhuma garantia de lucro. Assim como no mercado de ações, o preço pode variar consideravelmente. Nesse sentido, as criptomoedas devem compor a fatia voltada para ativos de risco na carteira de investimentos diversificada. Aspectos relacionados à diversificação dos investimentos serão vistos no capítulo seguinte, o qual fundamenta a Teoria Moderna do Portfólio, desenvolvida por Markowitz (1952).

Outra crença é de que as criptomoedas possuem como finalidade a lavagem de dinheiro, pois existe a impressão de que são anônimas, o que é apenas parcialmente verdadeiro. As transações entre contas são feitas utilizando endereços na rede, deixando rastros. Dessa forma, existem métodos para descobrir quem está por trás de cada máquina, rastreando-a através do endereço de internet (IP) do usuário (BIRYUKOV; KHOVRATOVICH; PUSTOGAROV, 2014). Além disso, as *exchanges* de criptomoedas são obrigadas a prestar informações relativas às operações realizadas com criptoativos à Secretaria Especial da Receita Federal do Brasil, e entre essas informações estão os titulares da operação. Salienta-se que Exchange é a pessoa jurídica, ainda que não financeira, que oferece serviços referentes a operações realizadas com criptoativos, inclusive intermediação, negociação ou custódia, e que pode aceitar quaisquer meios de pagamento, inclusive outros criptoativos (BRASIL, 2019).

Por fim, o último ponto a ser destacado consiste na desconfiança devido a inexistência de lastro das criptomoedas. Esta questão trata-se de um ponto de divergência entre os pesquisadores, desta forma, não será desmentida, mas esclarecida. O lastro de emissão do Real, por exemplo, é composto por parcela das reservas internacionais disponíveis em moedas estrangeiras e em ouro, expressas por suas equivalências em dólares dos Estados Unidos (BANCO CENTRAL, 1994). Nesse sentido, Martins e Val (2016) salientam que a noção do bitcoin e das criptomoedas mais utilizadas possuem como base uma moeda sem lastro, ou seja, não há garantia de substituição ou equivalência em alguma *commodity*, como o ouro ou a prata. Assim, esse modelo de moeda acaba desafiando o conceito dos sistemas monetários convencionais centralizados e levantando questionamento quanto sua confiabilidade.

Entretanto, conforme Ulrich (2014), o lastro não é uma necessidade teórica de uma moeda, apenas uma tecnicidade empírica cujo principal serviço foi o de servir como restrição as práticas imprudentes de banqueiros e às investidas inflacionistas do estado no gerenciamento da moeda. Assim, o lastro serviu para que existisse segurança (ou esperança) de que a oferta monetária não seria inflada pela emissão excessiva de substitutos de dinheiro. Nesse sentido, o autor questiona a necessidade de lastro em um sistema no qual existam maneiras seguras de impedir a expansão irrestrita de meios fiduciários. Ele salienta que, com o Bitcoin, esse dilema da provisão da oferta monetária foi equacionado, visto que sua emissão é realizada de forma competitiva e paulatinamente, a uma taxa de crescimento preestabelecida e limitada a 21 milhões de unidades.

Conforme o autor, após um bem ser empregado e reconhecido como moeda, seu lastro jaz na sua escassez relativa. Assim como o lastro do ouro é a escassez inerente de suas propriedades físico-químicas, e o lastro do papel-moeda fiduciário é a confiança de que os

governos não inflacionarão a moeda, o lastro do *bitcoin* estaria nas propriedades matemáticas que garantem uma oferta monetária, cujo aumento ocorre a um ritmo decrescente e limitado. Além disso, há uma garantia implícita em sua rede composta por milhares de computadores ao redor do mundo, formada por agentes engajados que garantem que as transações sejam executadas de forma segura. Salienta-se, por fim, que o lastro físico, assim como o lastro matemático do *bitcoin*, visa assegurar uma escassez de oferta. Entretanto, o lastro governamental garante unicamente uma demanda mínima, mas não uma oferta inelástica. Em outras palavras, de acordo com o autor, o lastro estatal não assegura uma moeda boa, apenas que ela tenha aceitação no mercado.

2.2 TEORIA MODERNA DO PORTFÓLIO

A Teoria Moderna do Portfólio, desenvolvida por Markowitz (1952), é um ponto importante do pensamento econômico-financeiro, ela explica como os investidores se comportam ao fazer investimentos em mercados eficientes. Também fornece ao mercado financeiro uma ferramenta para a diversificação ideal de portfólio. A origem da teoria envolveu muitos acadêmicos e pesquisadores, incluindo o próprio Harry Markowitz, James Tobin, William Sharpe, John Lintner e Eugene Fama, todos reconhecidos e famosos por fazerem importantes contribuições ao entendimento da escolha do portfólio dos investidores (LINDBLOM et al., 2017).

A teoria tem como ponto de partida a pesquisa de Markowitz (1952) intitulada *Portfolio selection*, na qual o autor desenvolveu uma metodologia de otimização de carteira de ativos, através da seleção de ações que possibilitariam a maximização do retorno esperado de acordo com níveis de aceitação do investidor perante o risco. Investidores racionais selecionarão o portfólio que melhor se adapte aos seus objetivos. O modelo proposto preconiza que o retorno esperado para um conjunto de ativos é a média ponderada dos retornos esperados para cada ativo individual. Porém, o risco do conjunto de ativos não é a média dos riscos dos ativos individuais, mas uma função das variâncias individuais de cada ativo e de uma parcela das covariâncias entre os ativos, calculadas dois a dois. Diversas combinações de ações determinam uma fronteira eficiente na qual repousam as melhores relações entre retorno e risco. A maior contribuição do artigo foi a introdução do conceito de diversificação do portfólio como uma maneira de melhorar a relação entre risco e retorno de carteiras de investimento. O estudo é conhecido como Teoria do Portfólio e resultou, ao seu criador, na conquista do Prêmio Nobel de Ciências Económicas, em 1990.

Tobin (1958), estendeu o modelo de Markowitz incluindo ativos livres de risco e introduziu o teorema da separação, segundo o qual a escolha de carteiras pode ser realizada em dois estágios. Primeiramente é necessário encontrar a carteira eficiente de ativos de risco, posteriormente, determina-se a fração ótima para investir na carteira eficiente de ativos arriscados e no ativo livre de risco. Iglesias (2019) salienta que o conceito de ativo livre de risco é, na verdade, uma licença poética, visto que a existência desse ativo é bastante questionada. De forma geral, os ativos que mais se assemelham são os títulos de curto prazo emitidos pelo Tesouro dos Estados Unidos, pois tanto o risco de oscilação dos títulos decorrente das variações das taxas de juros quanto o risco de crédito são baixos. Tobin ganhou o Prêmio Nobel de Ciências Económicas em 1981 por sua contribuição para a teoria de carteiras de investimento.

Por sua vez, Sharpe (1964) objetivou analisar como seriam avaliados os ativos financeiros admitindo-se que as carteiras fossem formadas segundo a proposta de Markowitz (1952). O autor buscou trazer respostas mais efetivas quanto ao risco e retorno na avaliação de ativos. A maior contribuição da pesquisa foi a constatação de que o retorno esperado de um ativo individual, em um mercado em equilíbrio, é uma função crescente do seu risco sistemático. Seus estudos deram origem ao modelo de precificação de ativos de capital. Sharpe também foi laureado com o Prêmio Nobel de Ciências Econômicas, em 1990, junto com Markowitz, devido sua contribuição teórica relacionada à tomada de decisões de investimentos.

Lintner (1965), visando o aperfeiçoamento do modelo de portfólios, apresentou algumas hipóteses com relação ao mercado e aos investidores. Entre as hipóteses de mercado, destaca-se que cada investidor pode investir qualquer parte de seu capital em ativos livres de risco com uma taxa de juros comum ou em qualquer título de risco, que são negociados em um mercado competitivo, livre de custos de transação e impostos. Entre as hipóteses relacionadas aos investidores, destaca-se a assunção de que cada investidor já teria decidido a fração de seu capital que deseja manter em dinheiro e depósitos não remunerados e que teria atribuído, também, uma distribuição de probabilidade incorporando seus julgamentos em relação aos retornos de todas as ações individuais, ou, ao menos, especificado um valor esperado e uma variância para cada retorno e uma covariância ou correlação para cada par de retornos. Além disso, entre diversas escolhas de combinações de ativos com o mesmo retorno esperado, ele preferiria aquela com menor variância, ou se de mesmas variâncias, aquela que tivesse o maior retorno esperado.

Por sua vez, Fama (1965) apresentou a teoria do passeio aleatório, segundo a qual o caminho futuro do nível de preço de um título não é mais previsível do que o caminho de uma série de números aleatórios acumulados. Isto é, mudanças nas séries de preços não possuem

memória, ou seja, o passado não pode ser usado para prever o futuro de forma sistemática. Posteriormente, Fama (1970) concebeu a hipótese dos mercados eficientes, demonstrando que, em mercados onde há um grande número de investidores bem informados, os investimentos serão precificados de modo a refletir todas as informações disponíveis. O conceito fundamental dessa hipótese está suportado na tese de que os preços dos ativos financeiros são um reflexo das informações disponíveis no mercado. A consequência disto é que os preços dos ativos seguem um caminho aleatório, sendo difícil estabelecer estratégias de alocação de recursos que venham a proporcionar lucros acima do normal, pois os preços são sensíveis às informações disponibilizadas pelo mercado a cada novo momento. Eugene Fama ganhou o Prêmio Nobel de Ciências Econômicas, em 2013, pela sua contribuição para o campo teórico, com a hipótese de mercado eficiente.

Salienta-se que a teoria moderna do portfólio pode ser a exportação intelectual mais fecunda das finanças quantitativas para outras ciências. As ciências sociais, fora do domínio estritamente financeiro, aplicaram a teoria de portfólio a assuntos tão diversos quanto o desenvolvimento regional, a psicologia social e a recuperação de informações. Ela oferece uma abordagem matematicamente informada ao gerenciamento de riscos financeiros, pressupondo que os investidores são racionalmente avessos ao risco. Logo, dado dois portfólios com o mesmo retorno esperado, os investidores preferem o menos arriscado, visto que para aceitar um risco maior, o investidor exigirá um maior retorno esperado (CHEN, 2016).

Apesar de ser considerado o pai da teoria do portfólio, Markowitz (1999) afirma que a diversificação de investimentos era uma prática bem estabelecida muito antes da publicação de seu artigo sobre seleção de portfólio, em 1952. É possível verificar a seguinte passagem na obra “O Mercador de Veneza” de Shakespeare (1600): “Meus empreendimentos não são confiados nem em um único lugar nem em toda a minha propriedade, em relação à fortuna deste ano. Portanto, minhas mercadorias não me deixam triste (em relação ao risco de perdê-las)”. Entretanto, realizadas as considerações, foi Markowitz quem preencheu a lacuna entre teoria e prática.

Retornando ao conceito de diversificação de portfólio, articulado por Markowitz (1952), verifica-se que consiste em um processo pelo qual um investidor seleciona uma determinada carteira de investimentos. Esse processo envolve uma dicotomia entre os retornos desejáveis de alta expectativa e a variação indesejável dos retornos esperados, ou seja, o risco. A diversificação, por meio da lei dos grandes números, mantém os retornos reais próximos aos retornos esperados, essa regra pressupõe a existência de um portfólio ideal que maximize os retornos esperados e minimize a variância.

A fim de maximizar os retornos esperados, o investidor deve assumir algum risco ou desistir de alguns retornos para minimizar a variação. De acordo com Wilson (1998), a relação entre risco e retorno sugere que expectativas mais altas de retorno estão tipicamente associadas à maior volatilidade do portfólio. No entanto, a diversificação tem mostrado reduzir a volatilidade geral da carteira para um determinado retorno esperado. Essa relação é considerada a espinha dorsal na gestão de carteiras (ELTON et al., 2003).

Scala et al. (2019) salientam que cada ativo financeiro é composto por três elementos: o retorno esperado do ativo, o risco do ativo (ou seja, o desvio padrão dos retornos esperados devido às flutuações do mercado, também chamado de volatilidade) e a correlação entre os ativos que compõem a carteira. A correlação entre ativos mede como dois ativos se comportam um em relação ao outro. Uma correlação positiva perfeita (+1) implica que os dois ativos se movem na mesma direção. Já uma correlação negativa perfeita (-1) significa que os dois ativos se movem na direção oposta. Por sua vez, se a correlação for 0, os dois ativos flutuam aleatoriamente. Um portfólio ideal deve ser formado por ativos correlacionados negativamente. Salienta-se que os investidores não visam necessariamente maximizar o retorno, mas também a formação de carteiras que diminuam o risco mantendo o valor do retorno.

Em relação ao risco, a teoria das finanças divide-o em dois componentes diferentes: o risco sistemático e o risco não sistemático. O risco não sistemático (ou diversificável) é aquele que afeta principalmente os preços de um ativo e pode ser reduzido por meio da diversificação. Por sua vez, o risco sistemático (ou não diversificável) está conectado a um risco comum relacionado ao mercado e afeta os preços de todos os ativos, não podendo ser reduzido através da diversificação. Portanto, uma carteira é eficiente quando o risco não sistemático é removido através da diversificação e, conseqüentemente, o risco da carteira de mercado é igual ao risco sistemático. De acordo com Brealey e Myers (1996), o risco sistemático ao qual está exposto o ativo está diretamente relacionado com o seu retorno, visto que o investidor racional exigirá uma maior recompensa em face ao incremento de risco de um investimento. Existem diversas medidas de risco e elas serão abordadas de maneira mais completa nos tópicos seguintes.

2.2.1 O Modelo de Precificação de Ativos de Capital

O Modelo de precificação de ativos de capital ou *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) foi desenvolvido por Sharpe (1964) e Lintner (1965) com base nas ideias de Markowitz (1952), segundo o qual os investidores são avessos ao risco e, ao escolherem entre carteiras, preocupam-se com o retorno médio e a variância do retorno de seu investimento. O CAPM é um dos

modelos mais utilizados na precificação de ativos sob condições de risco e relaciona o retorno esperado de um ativo, negociado em um mercado eficiente e em carteiras diversificadas, ao seu risco sistemático. De acordo com o CAPM, o retorno esperado de um ativo é formado pelo retorno do ativo livre de risco mais um prêmio de mercado para compensar o risco, conforme a Equação (1).

$$R_A = RF + \beta_A (RM - RF), \quad (1)$$

onde R_A é o retorno esperado do ativo A ; RF é a taxa livre de risco; β_A é a medida de risco sistemático do ativo A , e RM é o retorno esperado do mercado.

Como mencionado anteriormente, existem diversas medidas utilizadas para mensurar o risco sistemático, entre elas está o *beta* do CAPM, o qual compara os retornos de um ativo individual ou de uma carteira de ativos com os retornos obtidos de uma referência mais ampla, com base na totalidade ou pelo menos em uma parte significativa do mercado financeiro. Nesse sentido, um ativo com maior valor de *beta*, deve apresentar maior retorno esperado (DAMODARAN, 2005). Segundo Ross et al. (2015), o coeficiente *beta* é interpretado como a contribuição do ativo para o risco de uma carteira de investimentos diversificada e é definido pela Equação (2).

$$\beta_A = \frac{cov(R_A, RM)}{var(RM)}, \quad (2)$$

onde β_A é o *beta* do ativo A ; $cov(R_A, RM)$ é a covariância entre o retorno do ativo A e o retorno de mercado e $var(RM)$ é a variância do retorno do mercado.

Por sua vez, o prêmio pelo risco é definido pela Equação (3).

$$Prêmio pelo Risco = RM - RF, \quad (3)$$

onde RM é o retorno esperado do mercado e RF é a taxa livre de risco.

A taxa livre de risco deve expressar o correto cumprimento da obrigação de pagamento, por parte do devedor, do principal e dos encargos financeiros, em conformidade com seus respectivos vencimentos, ou seja, não pode revelar incerteza com relação ao inadimplemento de qualquer obrigação prevista no contrato de emissão do título. Uma mensuração de taxa livre de risco geralmente adotada nos modelos de avaliação são os juros pagos pelos títulos de emissão pública. No Brasil, a taxa de juros formada nas negociações com títulos públicos é a taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (Selic).

O CAPM possui uma série de suposições relativamente rigorosas. Requer investidores homogêneos com expectativas de retorno e horizontes de investimento idênticos, sem custos ou impostos de transação, liquidez ilimitada, empréstimos a taxas de juros livres de risco, e, além disso, todos os investidores procurariam maximizar o retorno e minimizar o risco. De acordo com Thomä et al. (2019), o CAPM continua sendo a força teórica mais dominante no gerenciamento de portfólio até hoje.

2.2.2 Hipótese do mercado eficiente

Embora existam muitas formas de hipótese de mercado eficiente (HME), em termos gerais, todas elas afirmam que um mercado é eficiente se os preços imediatamente, para todos os efeitos práticos, refletirem todas as informações relevantes sobre os ativos no mercado. A HME exige que, em média, a população esteja sempre correta sobre o preço (mesmo que não exista uma única pessoa) e, à medida que novas informações aparecem, os participantes do mercado revisam suas expectativas adequadamente para manter esse estado de coisas (ROUNAGHI; ZADEH, 2016).

Entretanto, os estudos acerca da eficiência do mercado demonstram que o grau em que os mercados são eficientes provavelmente não é constante ao longo do tempo. Em particular, à medida que novas informações são processadas pelos participantes do mercado, há um período transitório (de duração desconhecida e variável) durante o qual o preço pode não refletir o valor real. Apesar do progresso alcançado no entendimento da natureza da eficiência do mercado, o mecanismo real em que os preços se ajustam às novas informações (ou seja, o processamento de informações pelos participantes do mercado durante o processo de precificação) parece relativamente desconhecido. Não existe um modelo matemático abrangente para a descoberta de preços com base no comportamento dos participantes do mercado (IMMONEN, 2015).

Em seu cerne, a HME possui três premissas básicas, conforme Pesaran (2005). Primeiro, a racionalidade do investidor, ou seja, a HME opera sob a premissa de que os investidores são

racionais, no sentido de que são capazes de reagir corretamente quando confrontados com novas informações. Em segundo lugar, a arbitragem, isto é, cada decisão individual de investimento e de negociação é tomada de modo a satisfazer a lei da arbitragem. Terceiro, racionalidade coletiva, os erros aleatórios dos investidores tendem a cancelar todos os outros no mercado.

Além disso, há três formas de eficiência de mercado: fraca, semiforte e forte. De acordo com Chen (2016), a versão fraca da hipótese postula que os mercados assimilam todas as informações públicas. A versão semiforte pressupõe que, além dos mercados assimilarem todas as informações públicas, sua difusão reflete imediatamente nos preços. Por sua vez, a forma forte postula que os preços dos títulos refletem instantaneamente todas as informações, públicas e privadas, e que a prevalência desse conhecimento impede os investidores de obterem retornos excedentes. Ou seja, em um mercado fortemente eficiente, não há como, para a maioria dos investidores, alcançar taxas de retorno consistentemente superiores.

Rounaghi e Zadeh (2016) acreditam que a HME é simplesmente a tentativa de matematizar a ideia de que os mercados financeiros são líquidos e muito difíceis de superar. Se não existirem informações úteis nos preços de mercado, esses preços poderão ser entendidos como ruído. Uma formulação honesta da HME incorpora a ideia de que o mercado é difícil de vencer, é esmagadoramente barulhento, mas deixa em aberto a questão da existência de correlações difíceis de explicar e que possam ser exploradas como lucro excepcional (McCAULEY; BASSLER; GUNARATNE, 2008).

2.2.3 Modelos de composição de portfólio

A literatura possui uma expressiva quantidade de trabalhos científicos que tratam de medidas de risco que levam a diferentes modelos de composição de portfólios. O modelo clássico de Markowitz (1952) baseia-se na média variância, na qual o risco é medido através da variância do retorno da carteira. Neste trabalho utilizaremos o modelo clássico e outros quatro modelos desenvolvidos posteriormente, sendo eles, o modelo de semi variância média, o modelo de perda esperada, o modelo de desvio médio absoluto e o modelo ômega.

2.2.3.1 O Modelo de média variância e a fronteira eficiente

A fronteira eficiente advém dos estudos de Markowitz sobre a relação entre retorno, risco e correlação dos ativos. Dado um conjunto de ativos, é possível combiná-los de diferentes maneiras de forma que apresentem a melhor relação entre risco e retorno possível,

potencializando a alocação dos recursos. A Moderna teoria do portfólio baseia-se no modelo de média variância, o qual permite a obtenção de carteiras de variância mínima para cada nível de retorno esperado (retorno médio). Assim, para cada nível de retorno esperado, os portfólios eficientes minimizam o risco, medido pela variância ou desvio padrão dos retornos passados (ARCE, 2014).

Nas palavras de Singh, Saikia e Bhattacharjee (2015), o Modelo de Média Variância baseia-se nos retornos esperados (ou seja, média) e no desvio padrão (ou seja, risco) das várias carteiras. A teoria sugere uma hipótese de que o retorno esperado de um portfólio para uma determinada quantidade de risco do portfólio é maximizado ou, alternativamente, o risco em um determinado nível de retorno esperado é minimizado.

A diversificação deve ser realizada buscando ativos que possuam correlação negativa entre si, para que assim seja possível diminuir o risco diversificável da carteira, equilibrando as perdas e fazendo com que os prejuízos de um determinado ativo sejam absorvidos por somente parte dos investimentos realizados. Para cada nível de risco, obtém-se uma carteira de maior retorno possível dentro da chamada curva de eficiência, na qual conforme a porcentagem de aplicação em um determinado ativo, tanto o retorno quanto risco aumentam ou diminuem (AMORIM; MAGANINI, 2019).

Shah e Jammalamadaka (2017) salientam que a alocação ou diversificação entre os ativos previstos, cada um com uma combinação única de risco e retorno, pode ser específica para cada caso. Em outras palavras, ele pode ser adaptado aos graus preferidos de aversão ao risco ou afinidade ao risco do investidor e, em certos casos, até condições específicas do investimento.

Na prática, a diversificação possui limites, pois é muito difícil que sejam encontrados ativos com correlação perfeitamente negativa. Desse modo, não é possível que todo risco diversificável seja eliminado, mas pela diversificação é possível minimizá-lo. Portanto, entender a importância da diversificação pode ajudar os gerentes financeiros a obter portfólios de desempenho superior (SORENSEN et al., 2004).

O modelo de Markowitz é baseado nas seguintes suposições sobre o comportamento do investidor (REILLY; BROWN, 2000):

- 1) Os investidores consideram cada alternativa de investimento como sendo representadas por uma distribuição de probabilidade dos retornos esperados durante um período de espera.

- 2) Os investidores maximizam a utilidade esperada de um período, e suas curvas de utilidade demonstram uma utilidade marginal decrescente da riqueza.

3) Os investidores estimam o risco da carteira com base na variabilidade dos retornos esperados.

4) Os investidores baseiam as decisões unicamente no retorno e risco esperados, de modo que suas curvas de utilidade são uma função do retorno esperado e da variação esperada (ou desvio padrão) dos retornos.

5) Para um determinado nível de risco, os investidores preferem retornos mais altos a retornos mais baixos. Da mesma forma, para um determinado nível de retorno esperado, os investidores preferem menos riscos a mais riscos.

Com base nessas premissas, a moderna teoria do portfólio utilizou modelos matemáticos para construir a carteira, escolhendo as quantidades de vários títulos com cautela, levando principalmente em consideração o preço de cada mudança de título em comparação com qualquer outro título do portfólio, ou seja, não considera os títulos individualmente. A seleção do portfólio ideal depende do apetite ao risco do investidor. De acordo com a teoria, cada título tem seus próprios riscos e uma carteira de valores mobiliários diversos deve ter um risco menor do que um único portfólio de títulos. Um portfólio que fornece retorno máximo para um determinado risco ou risco mínimo para determinado retorno é um portfólio eficiente. Assim, de acordo com Singh, Saikia e Bhattacharjee (2015), as carteiras são selecionadas da seguinte maneira:

a) das carteiras com o mesmo retorno, o investidor prefere a carteira com menor risco, e

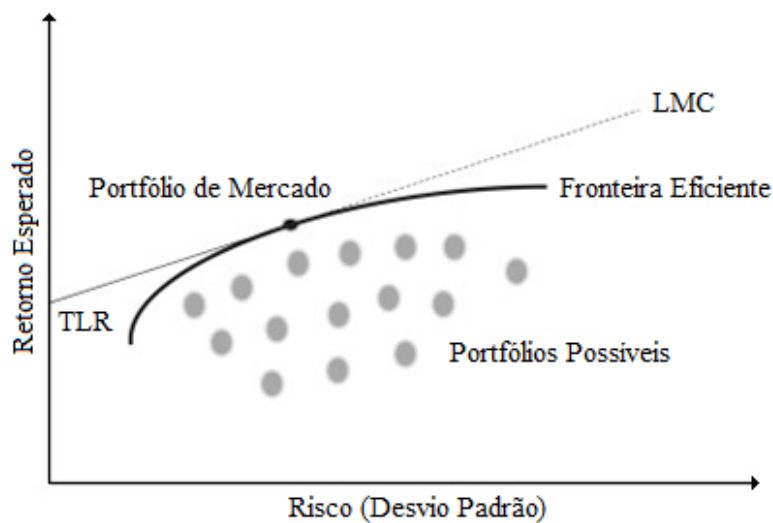
b) das carteiras com o mesmo nível de risco, o investidor prefere a carteira com maior taxa de retorno.

Conforme o Gráfico 3, se todas as carteiras forem plotadas, assumindo riscos no eixo X e retornos esperados no eixo Y, é possível verificar a fronteira eficiente, ou seja, a combinação de todos os ativos possíveis que fornecem aos investidores o maior retorno para um determinado nível de risco ou, inversamente, com o menor nível de risco para uma determinada taxa de retorno (REILLY; BROWN, 2000). O benefício marginal do retorno diminui ao longo da fronteira eficiente. Isso significa que o benefício de assumir incrementos adicionais de risco reduz e, finalmente, se aproxima de zero. Todas as carteiras situadas abaixo da fronteira eficiente são carteiras viáveis, mas não são mais eficientes. Essas carteiras podem fornecer o mesmo nível de risco que as da fronteira eficiente, mas seu retorno geral será menor.

Por sua vez, a linha de mercado de capitais (LMC) é dividida em duas seções. A primeira é a parte da linha antes da carteira de mercado e é alcançada investindo uma parte dos fundos disponíveis no ativo livre de risco e o restante nos ativos de risco. A segunda é a parte da linha

após a carteira de mercado e é alcançada através de empréstimos à taxa livre de risco (TLR) para investir nos ativos de risco (MUTAVDZIC; MAYBEE, 2015). O nível de aversão ao risco varia entre os investidores e é impulsionado por vários fatores, incluindo a disponibilidade total de riqueza, a atitude em relação ao risco e as curvas de utilidade. Além disso, Guj (2013) observa que, à medida que o capital em risco aumenta como proporção da riqueza de um investidor, ele se torna mais sensível ao aumento da exposição ao risco de fracasso.

Gráfico 3 – Fronteira eficiente



Fonte: Adaptado de Mutavdzic e Maybee (2015).

Portanto, a fronteira eficiente do modelo de média variância representa carteiras ideais de investimentos preferidas por todos os investidores racionais, independentemente de sua aversão ao risco (BODIE et al., 2011). Todos os investidores escolhem esse portfólio de risco ideal e diferem apenas na quantia que alocam na taxa livre de risco. Uma mudança na taxa de retorno livre de risco pode significar uma mudança no portfólio ideal de ativos de risco.

2.2.3.2 O Modelo de semi variância média

A semivariância média ou *mean-semivariance* mede o risco de queda nas seleções de portfólio ideal. Consiste em uma medida de risco de desvantagem, visto que mede apenas os retornos abaixo de um certo limite. Este limite captura as perspectivas de risco de investidores para investidores. Para um investidor preocupado apenas em perder sua riqueza inicial, esse

limite é zero e a probabilidade de perder o principal é considerada arriscada. Por outro lado, para um investidor cuja taxa de retorno mínima exigida é de 10%, qualquer retorno abaixo disso é considerado arriscado (BOASSON; BOASSON; ZHOU, 2017).

De acordo com Ballesterio (2005), a semivariância é definida como a soma ponderada dos desvios quadrados de determinado limiar, considerando apenas aqueles valores abaixo do valor esperado dos retornos. Como os investidores estão mais preocupados com o risco de baixa do que com a volatilidade geral, torna-se interessante medir o risco por semivariância, em vez de variância.

Para Macedo, Godinho e Alves (2017), o princípio subjacente para o modelo de semivariância é o mesmo que o modelo de variância, em que os investidores estão dispostos a trazer o risco de queda o mais baixo possível, mantendo a taxa de retorno acima de um determinado nível. Tradicionalmente, os problemas de otimização de portfólio usam variância (ou desvio padrão) como uma medida de risco. Embora comumente aceita, essa medida não é a mais adequada para avaliação de risco, uma vez que considera desvios igualmente adversos (abaixo da média) e favoráveis (acima da média). Contudo, como Markowitz admitiu, um investidor só se preocupa com variações adversas. Neste contexto, Markowitz propôs uma medida alternativa de risco, a semivariância (MARKOWITZ, 1991), que considera apenas os desvios adversos. A semivariância é matematicamente definida como:

$$S = E \left(\min(0, R_p - C)^2 \right), \quad (4)$$

onde E é o valor esperado, R_p é o retorno do portfólio e C é um benchmark.

2.2.3.3 O modelo de perda esperada

Antes de introduzir o Modelo de Perda Esperada, *Conditional Value at Risk* (CVaR) ou, em tradução livre, valor condicional em risco, é necessário entender o *Value at Risk* (VaR) ou valor em risco. O VaR foi desenvolvido por Morgan (1996) e consiste em uma medida de perda percentual de uma carteira de investimentos sujeita aos riscos de mercado. Com o cálculo do VaR é possível obter o valor esperado da perda máxima em um horizonte de tempo com um intervalo de confiança.

De um modo geral, se um investimento demonstra estabilidade ao longo do tempo, o VaR pode ser suficiente para o gerenciamento de riscos em uma carteira que contém esse

investimento. No entanto, quanto menos estável, maior a chance de o VaR não fornecer uma imagem completa dos riscos, pois é indiferente a algo além do seu próprio limite (CHEN, 2020).

O Cálculo do VaR é realizado conforme a Equação 5:

$$VaR = (R - Z\delta)V, \quad (5)$$

sendo que:

R = retorno esperado;

Z = valor correspondente para um nível de significância;

δ = desvio padrão de rentabilidade;

V = valor do investimento.

Por sua vez, o CVaR, desenvolvido por Rockafellar e Uryasev (2000), busca abordar as deficiências do modelo VaR e, embora o VaR represente uma perda no pior caso associada a uma probabilidade e um horizonte de tempo, o CVaR é a perda esperada se esse limite for ultrapassado. Ou seja, o CVaR quantifica as perdas esperadas que ocorrem além do ponto de interrupção do VaR. O cálculo do CVaR é simples, depois que o VaR tiver sido calculado, sendo a média dos valores que ultrapassam o VaR, conforme equação 6.

$$CVaR = \frac{1}{1-c} - \int_{-1}^{VaR} -xp(x)dx, \quad (6)$$

sendo:

$p(x)dx$ = densidade de probabilidade de obter um retorno com o valor “x”;

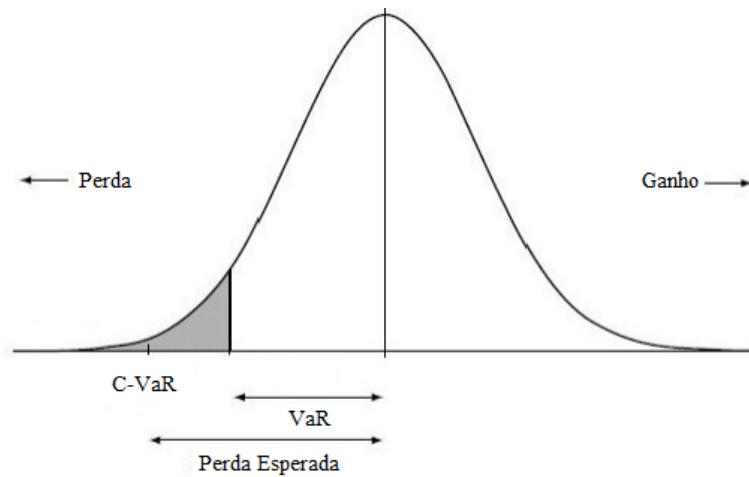
c = ponto de corte ao longo da curva de distribuição em que se define o ponto de interrupção do VaR;

VaR = nível VaR acordado.

Uma consequência de sua definição é que valores maiores de CVaR indicam um investidor mais conservador, enquanto valores mais baixos de CVaR (possivelmente até negativos) estão associados a maiores níveis de risco (CUSTODIO, 2016). De acordo com Alexander (2008), o CVaR é uma medida de risco estimada pela média das perdas desde o pior resultado até o percentil selecionado (geralmente 1%, 5% ou 10%), possibilitando conhecer a extensão das perdas.

O Gráfico 4, adaptado de Yamai e Yoshiba (2002), apresenta uma curva de distribuição idealizada dos retornos. Na maioria das vezes, os retornos de um investimento ocorrem perto do centro ou pico da distribuição. Quando os mercados estão indo bem, os retornos caem para a direita da curva. No entanto, quando estão indo mal, os retornos caem para a esquerda da distribuição. O ponto marcado como VaR representa um ponto de interrupção que raramente se espera que seja superado. O CVaR explora o que acontece nessas ocasiões em que o limite do VaR é violado. Portanto, o CVaR é a média das perdas extremas na cauda da distribuição.

Gráfico 4 – Distribuição de perdas e ganhos, VaR e CVaR



Fonte: adaptado de Yamai e Yoshiba (2002).

O modelo possui diversas características que o tornam uma métrica adequada e apropriada para a otimização de portfólios. Além de ser uma medida de risco coerente, seu cálculo leva em consideração valores extremos e, por meio de um modelo de otimização linear estocástica, pode ser otimizado sem demandar um alto poder computacional (BERTSIMAS; LAUREATE; SAMAROV, 2004; URYASEV, 2000). O CVaR é capaz de quantificar perigos além do VaR e, além disso, é coerente. Fornece atalhos de otimização que, através de técnicas de programação linear, faz muitos cálculos práticos em grande escala que possuem eficiência numérica e estabilidade (ROCKAFELLAR; URYASEV, 2002).

2.2.3.4 O modelo de desvio médio absoluto

O desvio médio absoluto ou *mean absolute deviation* (MAD) é a média das diferenças absolutas entre cada ponto de dados e a média geral, ou seja, o valor pelo qual, em média, qualquer ponto difere da média geral. Desta forma, ele dá a cada desvio seu lugar proporcional no resultado (GORARD, 2014). Conforme Zhao et al. (2015), o desvio médio absoluto é uma das medidas importantes de dispersão estatística. Por ser uma medida de variabilidade mais simples do que o desvio padrão, trata-se de uma ferramenta alternativa a ele e, além disso, possui algumas vantagens, como a robustez.

De acordo com Qin (2017) a dificuldade computacional associada à solução de um modelo de média-variância em grande escala, levou vários autores a explorarem medidas de risco alternativas para substituir a variância. Entre essas medidas está o desvio médio absoluto introduzido por Konno e Yamazaki (1991), uma das medidas de risco mais comumente usadas na teoria de portfólio. Em seu artigo, os autores propuseram um modelo de programação linear, removendo a maioria das dificuldades associadas ao modelo de média-variância. Desde então, o modelo tem atraído cada vez mais atenções tanto na teoria quanto na prática. O desvio absoluto médio pode ser definido conforme a equação 7.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n xi - \bar{xv}}{n}, \quad (7)$$

sendo:

xi = valor de performance do período i

\bar{x} = valor médio

n = quantidade de observações

2.2.3.5 O modelo ômega

O índice ômega ou *omega ratio* é uma medida de desempenho de risco-retorno de ativos de investimento introduzida por Keating e Shadwick (2002) e consiste na razão ponderada da probabilidade de ganhos *versus* perdas em relação a um determinado limite de retorno. Ele é projetado para superar as deficiências das medidas de desempenho baseadas apenas na média e na variância, levando em consideração toda a distribuição dos retornos. Os retornos abaixo e

acima de um determinado limite de perda são considerados (BERTRAND; PRIGENT, 2011). Ele é calculado da seguinte forma:

$$I(\theta) = \frac{\int_{\theta}^{\infty} [1-F(r)]dr}{\int_{-\infty}^{\theta} F(r)dr}, \quad (8)$$

onde F é a função de distribuição de probabilidade cumulativa dos retornos e θ é o limite de retorno de destino que define o que é considerado um ganho versus uma perda.

Quanto maior a proporção, mais ganhos o ativo fornece em relação às perdas, considerando um determinado limite. Trata-se de uma alternativa ao índice de Sharpe que se baseia em informações que ele rejeita. O índice de Sharpe considera apenas os dois primeiros momentos da distribuição do retorno, enquanto o índice de Omega, por construção, considera todos os momentos. Conforme Bacmann e Scholz (2003), a principal vantagem do índice Omega é que ele envolve todos os momentos da distribuição do retorno, incluindo assimetria e curtose. Além disso, a classificação é sempre possível, qualquer que seja o limite “racional”, em contraste com o Índice de Sharpe no qual este nível é fixo e igual ao retorno sem risco.

2.3 O PANORAMA DAS PESQUISAS NO CENÁRIO MUNDIAL

No mundo acadêmico, as criptomoedas tornaram-se foco de interesse devido seu alto retorno e volatilidade. Muitas pesquisas estudaram diversos aspectos das moedas virtuais, como estrutura, previsão de preços e volatilidade dos retornos. As primeiras pesquisas tiveram como foco de estudo o Bitcoin, posteriormente foram adicionadas mais criptomoedas na análise. Em relação à utilização de criptomoedas como meios de pagamento e como ativos de investimento, Wu (2014) verificou que, embora possa ser menos útil como moeda, o Bitcoin pode desempenhar um papel importante no aprimoramento da eficiência do portfólio de um investidor. Por outro lado, Kurihara e Fukushima (2017) examinaram empiricamente a existência de anomalias semanais de preços, verificando a eficiência do mercado de Bitcoin e constataram que o mercado de Bitcoin não é eficiente.

Já em relação à correlação entre criptomoedas e outros ativos, Baur, Lee e Hong (2015) verificaram que o Bitcoin não está correlacionado com as classes de ativos tradicionais, como ações e títulos, além disso, constataram, assim como Wu (2014), que eles são usados principalmente como investimento e não como moeda alternativa. Brière, Osterlinck e Szafarz

(2013) também verificou que o Bitcoin possui características altamente distintas em relação aos outros ativos. Corbet et al. (2018) incluíram na análise, *Bitcoin*, *Ripple* e *Litecoin* e também encontraram evidências do isolamento relativo entre as criptomoedas e outros ativos financeiros. Por sua vez, Urquhart e Zhang (2019) avaliaram a relação entre o *Bitcoin* e moedas na frequência horária e descobriram que o *Bitcoin* pode atuar como um hedge intradiário, diversificador e porto seguro para certas moedas (Dólar Canadense, Franco Suíço e Libra Esterlina) durante períodos de extrema turbulência no mercado, o que pode ser de grande interesse para investidores em moeda, criptomoeda e alta frequência.

Alguns artigos analisaram os efeitos da adição de criptomoedas no portfólio. Pinudom, et al. (2018) verificaram o efeito da adição de Bitcoin ao portfólio, explorando a estratégia de investimento *long only* e concluíram que, ao comparar sua eficácia usando a relação retorno-risco, a carteira com bitcoin mostra uma maior taxa de retorno do que aqueles sem bitcoin, ou seja, sua inclusão pode aumentar a eficácia do portfólio. Symitsi e Chalvatzis (2019) também avaliaram o desempenho do Bitcoin em portfólios de várias classes de ativos e encontraram benefícios de diversificação estatisticamente significativos com a sua inclusão.

Por sua vez, Dorfleitner e Lung (2018) examinaram os benefícios da inclusão de outras criptomoedas, além do *Bitcoin*, sendo elas *Litecoin*, *Dash*, *Ether*, *Ripple*, *Monero*, *Stellar* e *Nem* à carteira e verificaram que todas produzem benefícios significativos de diversificação ao serem adicionadas a um portfólio de referência bem diversificado, no entanto, a melhoria decorreu apenas de um aumento no retorno, não de uma redução de risco. Nesse sentido, Kajtazi e Moro (2019) exploraram os efeitos da adição de *Bitcoin* em carteiras de ativos dos EUA, europeus e chineses e verificaram que, adicionando bitcoin, o desempenho do portfólio melhora, mas isso se deve mais ao aumento dos retornos do que à redução da volatilidade.

Por outro lado, Ftiti et al. (2018) ao investigar as propriedades do Bitcoin nos mercados financeiros, verificaram que as estratégias de *hedge* envolvendo ouro, petróleo, ações e Bitcoin reduzem consideravelmente o risco do portfólio, em comparação com o risco do portfólio composto apenas de ouro, petróleo e ações. Aggarwal, Santosh e Bedi (2018) analisaram a magnitude e a robustez dos ganhos de diversificação devido à inclusão do Bitcoin do ponto de vista de um investidor indiano e também verificaram que aqueles que contêm Bitcoin têm retornos ajustados ao risco superiores em comparação aos demais.

Para Brauneis e Mestel (2018), a combinação de criptomoedas enriquece o conjunto de oportunidades de investimento quando elas apresentam baixo risco. Já Eisl, Gasser e Weinmayer (2015) afirmam que o Bitcoin deve ser incluído em portfólios mesmo que o risco do investimento aumente, pois esse risco adicional é compensado por altos retornos, levando a

melhores taxas de risco-retorno. Platanakis e Urquhart (2020) corroboram com esse entendimento de que os benefícios do *Bitcoin* são bastante consideráveis com retornos ajustados ao risco substancialmente mais altos e sugerem que os investidores incluam o Bitcoin em seu portfólio. Andrianto e Diputra (2017) também verificaram que a criptomoeda aumenta a eficácia do portfólio de duas maneiras, minimizando o desvio padrão e criando mais opções de alocação para os investidores escolherem.

Algumas pesquisas focaram na comparação do comportamento entre as criptomoedas. Gandal e Halaburda (2016) analisaram como os efeitos da rede afetam a concorrência no mercado emergente de criptomoedas, examinando a dinâmica entre diferentes criptomoedas e as taxas de câmbio e verificaram que, embora o *Bitcoin* domine esse mercado, no início outras criptomoedas se valorizaram muito mais rapidamente do que o *Bitcoin*. No final da amostra, no entanto, as coisas mudaram drasticamente e o *Bitcoin* se valorizou em relação ao dólar, enquanto outras moedas se depreciaram.

Leung e Nguyen (2018) construíram portfólios cointegrados que consistem em diferentes criptomoedas e examinaram o desempenho de várias estratégias de negociação e obtiveram portfólios cointegrados que se demonstraram lucrativos envolvendo quatro criptomoedas sendo elas *Bitcoin*, *Ethereum*, *Bitcoin Cash* e *Litecoin*. Gkillas e Katsiampa (2018) estudaram o comportamento dos retornos de criptomoedas e verificaram que o *Bitcoin Cash* é o mais arriscado, enquanto o *Bitcoin* e o *Litecoin* são os menos arriscados. Koutmos (2018) mediu a interdependências entre criptomoedas e suas descobertas sugerem uma crescente interdependência entre elas e, por extensão, um maior grau de risco de contágio. Por fim, Ehlers e Gauer (2019) constataram que *Bitcoin*, *Ethereum* e *Dash* contribuem para reduzir a variação de um portfólio misto, por sua vez, em um portfólio composto apenas por criptomoedas, *Bitcoin* e *Ripple* têm o maior efeito de diversificação.

A análise das pesquisas realizadas até o momento permitiu verificar que a maioria dos estudos focou apenas no Bitcoin, sendo o estudo do comportamento das demais criptomoedas ainda recentes. Provavelmente o principal motivo da preferência pelo *Bitcoin* deve-se a sua maturidade que permite a construção de bancos de dados maiores. Além disso, há uma preferência pela escolha de uma metodologia de análise no estudo das carteiras. A inclusão de mais criptomoedas e a quantificação de seus benefícios utilizando diferentes métodos pode ser benéfica para o entendimento de sua adoção como ativo de investimento.

3 METODOLOGIA

O tipo de pesquisa utilizado no estudo foi o descritivo, pois a pesquisa teve como objetivo verificar os efeitos da adição de criptomoedas ao portfólio ou, mais precisamente, os efeitos sobre o retorno e o risco de tais carteiras. Conforme Gil (1999), as pesquisas descritivas têm como finalidade principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Ainda, de acordo com Aaker, Kumar e Day (2004), a pesquisa descritiva, normalmente, usa dados dos levantamentos e caracteriza-se por hipóteses.

Quanto à sua abordagem, consiste num estudo quantitativo, pois utilizou a coleta e análise de dados com aplicação de técnicas estatísticas. Segundo Rodrigues (2006), essa abordagem está relacionada à quantificação, à análise e à interpretação de dados obtidos mediante pesquisa, podendo ser utilizada a estatística e programas de computador capazes de quantificar e representar graficamente os dados.

Em relação à amostra, optou-se por fracioná-la em 5 subamostras, com o objetivo de evitar viés e proporcionar uma maior robustez aos resultados. Cada subamostra foi composta por 100 ações, escolhidas de maneira aleatória dentre as listadas na S&P500, e 5 criptomoedas. A escolha de fracionar a amostra em subamostras se deve à necessidade de validação dos resultados, visto que todas as subamostras foram analisadas a fim de obter conclusões mais consistentes.

As criptomoedas utilizadas na pesquisa foram Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Ripple (XRP), Litecoin (LTC) e Stellar (XLM). A escolha dessas moedas se deu pela disponibilidade de dados necessários para o período delimitado, de 18 de janeiro de 2017 a 30 de março de 2021. Houve uma ponderação entre a quantidade de criptomoedas e o período de estudo a fim de garantir uma quantidade interessante de ambos os fatores que proporcione análises seguras.

As ações corresponderam a todas aquelas listadas na Standard & Poor's 500, um índice composto por 500 ativos cotados nas bolsas do *The New York Stock Exchange* (NYSE) ou da *National Association of Securities Dealers Automated Quotations* (NASDAQ), qualificados devido ao seu tamanho de mercado, sua liquidez e sua representação de grupo industrial. Optou-se pelo S&P500, pois consiste em uma proxy do mercado mundial; além disso, possibilita a obtenção de uma quantidade satisfatória de dados para análise.

Em relação à origem dos dados, foram utilizadas fontes secundárias. Os dados referentes às ações foram coletados da Standard & Poor's e, os referentes às criptomoedas, do Coinmarketcap.

A verificação do comportamento das criptomoedas no portfólio foi realizada através da análise de 5 modelos – média variância, semivariância média, perda esperada, desvio médio absoluto e ômega. A escolha desses modelos se deu pela necessidade de englobar diferentes perfis de investidores. As carteiras foram posteriormente comparadas a fim de verificar a participação das criptomoedas nos modelos, analisando cada procedimento de otimização.

Além disso, foi realizada uma análise adicional do comportamento dos ativos nas carteiras, considerando os períodos anterior e posterior ao início da pandemia de covid-19. Assim, pretendeu-se evitar vieses na análise do comportamento das criptomoedas, verificando, ainda, um possível impacto exógeno no mercado desses ativos. Nesta análise, a primeira amostra compreende o período entre 18 de janeiro de 2017 e 04 de março de 2020 (marcando o momento anterior à pandemia), e a segunda amostra compreende o período entre 18 de janeiro de 2020 e 30 de março de 2021 (marcando o momento posterior ao início da pandemia).

Objetivando responder ao problema de pesquisa relacionado à contribuição das criptomoedas na diversificação do portfólio, foram testadas algumas hipóteses.

Salienta-se que o modelo de média-variância, advindo dos estudos de Markowitz (1952) preconiza que, dado um conjunto de ativos, é possível combiná-los de forma que apresentem a melhor relação entre risco e retorno possível, potencializando a alocação dos recursos. Assim, para cada nível de retorno esperado, os portfólios eficientes minimizam o risco (ARCE, 2014), bem como, para determinada quantidade de risco, o retorno esperado é maximizado (SINGH et al., 2015). Nesse sentido, há evidências de que as criptomoedas auxiliam na maximização da relação entre risco e retorno (AGGARWAL et al., 2018; PLATANAKIS; URQUHART, 2020).

Além disso, a diversificação deve ser realizada buscando ativos que possuam correlação negativa entre si, para que, assim, seja possível diminuir o risco diversificável da carteira, equilibrando as perdas e fazendo com que os prejuízos de um determinado ativo sejam absorvidos por somente parte dos investimentos realizados (AMORIM; MAGANINI, 2019). De acordo com Andrianto e Diputra (2017), as criptomoedas possuem natureza diferente das moedas convencionais e têm um baixo relacionamento com ativos tradicionais, sendo consideradas bons ativos alternativos para os investidores, funcionando como refúgio. Há evidências empíricas de que elas não estão relacionadas com as classes de ativos tradicionais, como ações e títulos (BAUR et al., 2015) e que possuem características altamente distintas (BRIÈRE et al., 2013). Nesse sentido, a primeira hipótese a ser testada foi:

Hipótese 1: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através do modelo de média-variância.

Por sua vez, o modelo de semivariância média consiste na soma ponderada dos desvios quadrados de determinado limiar, considerando apenas aqueles valores abaixo do valor esperado dos retornos (BALLESTERO, 2005). O princípio subjacente para o modelo de semivariância é o mesmo que o modelo de variância, em que os investidores estão dispostos a trazer o risco de queda o mais baixo possível, mantendo a taxa de retorno acima de um determinado nível (MACEDO; GODINHO; ALVES; 2017). Esse modelo pode ser adequado aos investidores que estão mais preocupados com as variações adversas do que com a volatilidade geral. Nesse sentido tem-se a segunda hipótese testada:

Hipótese 2: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através do modelo de semi variância média.

De acordo com Qin (2017) a dificuldade computacional associada à solução de um modelo de média-variância em grande escala, levou vários autores a explorarem medidas de risco alternativas para substituir a variância. Entre essas medidas está o desvio médio absoluto introduzido por Konno e Yamazaki (1991), que consiste na média das diferenças absolutas entre cada ponto de dados e a média geral, ou seja, o valor pelo qual, em média, qualquer ponto difere da média geral. Desta forma, ele dá a cada desvio seu lugar proporcional no resultado (GORARD, 2014). Conforme Zhao et al. (2015), o desvio médio absoluto é uma das medidas importantes de dispersão estatística e removeu a maioria das dificuldades associadas ao modelo de média-variância. Por ser uma medida de variabilidade mais simples do que o desvio padrão, trata-se de uma ferramenta alternativa a ele e, além disso, possui algumas vantagens, como a robustez. Neste sentido tem-se a terceira hipótese testada:

Hipótese 3: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através do modelo de desvio médio absoluto.

Por outro lado, o índice ômega trata-se de uma medida de desempenho de risco-retorno de ativos de investimento e consiste na razão ponderada da probabilidade de ganhos versus perdas em relação a um determinado limite de retorno (KEATING; SHADWICK, 2002). Ou seja, os ativos preferidos são os que oferecem uma maior proporção de ganhos em relação às perdas, considerando um determinado limite. Os retornos abaixo e acima desse limite de perda são considerados (BERTRAND; PRIGENT, 2011).

Nesse sentido, os estudos de Dorfleitner e Lung (2018) e Kajtazi e Moro (2019) verificaram que a adição de criptomoedas ao portfólio produz benefícios significativos, entretanto o desempenho se deve mais ao aumento dos retornos do que à redução da volatilidade. Eisl, Gasser e Weinmayer (2015) afirmam que a criptomoeda deve ser incluída no portfólio mesmo que o risco aumente, pois, esse risco adicional é compensado por altos retornos. Assim, para o perfil de investidor interessado mais em incremento de retorno do que na redução do risco, as criptomoedas podem apresentar benefícios de diversificação através da aplicação do modelo ômega pois seu enfoque não está voltado à volatilidade, mas na relação entre ganhos e perdas. Nesse contexto, tem-se a quarta hipótese testada:

Hipótese 4: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através da aplicação do modelo ômega.

Por fim, o modelo de perda esperada, desenvolvido por Rockafellar e Uryasev (2000), analisa o investimento com foco na perda no pior caso associada a uma probabilidade e um horizonte de tempo. Esse modelo pode englobar perfis de investidores conservadores e preocupados em limitar sua exposição a perdas. Para Mota (2019) um dos motivos do grau de aceitação das criptomoedas por parte das pessoas ainda ser considerado baixo, pode ser relacionado à grande volatilidade dos preços desse mercado. Portanto, essa abordagem pode ser adequada para verificar se a inclusão de criptomoedas ao portfólio permanece benéfica, mesmo para investidores preocupados em limitar suas perdas. Nesse sentido, tem-se a quinta hipótese testada:

Hipótese 5: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através do modelo de perda esperada.

Salienta-se que os cinco modelos foram escolhidos com base na adequação ao objetivo de estudo e na necessidade de se englobar diferentes perfis de investidores, a fim de realizar uma análise mais ampla e prudente quanto à contribuição dos ativos nos portfólios, evitando, também, possíveis vieses.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão expostos os resultados obtidos no estudo, bem como sua análise. Primeiramente, serão verificadas as estatísticas descritivas para, posteriormente, apresentar os resultados obtidos em cada modelo.

4.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os primeiros resultados a serem analisados são as informações descritivas da amostra, composta por 5 subamostras. A estatística descritiva consiste na recola, análise e interpretação de dados numéricos através da aplicação de um conjunto de técnicas e de regras que resumem a informação recolhida sobre determinada amostra (REIS, 1996). Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta a estatística descritiva do período total.

Tabela 1 – Estatística descritiva do preço das criptomoedas no período total, de 18 de janeiro de 2017 a 30 de março de 2021

(continua)

PERÍODO TOTAL					
Ativo	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
SUBAMOSTRA 1					
BTC	1053	-46,47	22,51	0,40	5,00
ETH	1053	-55,07	39,14	0,49	6,93
XRP	1053	-55,05	75,08	0,42	8,66
LTC	1053	-44,91	53,98	0,37	7,19
XLM	1053	-42,96	129,92	0,48	9,83
SUBAMOSTRA 2					
BTC	1053	-46,47	22,51	0,40	5,00
ETH	1053	-55,07	39,14	0,49	6,93
XRP	1053	-55,05	75,08	0,42	8,66
LTC	1053	-44,91	53,98	0,37	7,19
XLM	1053	-42,96	129,92	0,48	9,83
SUBAMOSTRA 3					
BTC	1053	-46,47	22,51	0,40	5,00
ETH	1053	-55,07	39,14	0,49	6,93
XRP	1053	-55,05	75,08	0,42	8,66
LTC	1053	-44,91	53,98	0,37	7,19
XLM	1053	-42,96	129,92	0,48	9,83

Tabela 2 – Estatística descritiva do preço das criptomoedas no período total, de 18 de janeiro de 2017 a 30 de março de 2021

(conclusão)

SUBAMOSTRA 4					
BTC	1053	-46,47	22,51	0,40	5,00
ETH	1053	-55,07	39,14	0,49	6,93
XRP	1053	-55,05	75,08	0,42	8,66
LTC	1053	-44,91	53,98	0,37	7,19
XLM	1053	-42,96	129,92	0,48	9,83
SUBAMOSTRA 5					
BTC	1053	-46,47	22,51	0,40	5,00
ETH	1053	-55,07	39,14	0,49	6,93
XRP	1053	-55,05	75,08	0,42	8,66
LTC	1053	-44,91	53,98	0,37	7,19
XLM	1053	-42,96	129,92	0,48	9,83

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Verifica-se, conforme Tabela 1, que cada uma das 5 subamostras ficou formada pelas 5 criptomoedas selecionadas no estudo, sendo elas, Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Ripple (XRP), Litecoin (LTC) e Stellar (XLM), com 1053 observações de cada criptomoeda em cada subamostra. Salienta-se que, as subamostras se diferenciam quanto à alocação de ações em cada uma delas, entretanto, utilizam as mesmas observações quanto às criptomoedas, visto que consiste no ativo a ser analisado. A estatística descritiva demonstra que a criptomoeda que obteve a maior perda, durante o período total, foi a Ethereum e a menor perda foi a Stellar. Por sua vez, a criptomoeda que obteve maior retorno foi a Stellar e o que obteve menor ganho foi o Bitcoin. Quanto à média de retornos, o Litecoin obteve o menor e a Ethereum obteve o maior valor. Por fim, verifica-se que, dentre todas as criptomoedas, o desvio padrão dos retornos foi maior para a Stellar e menor para o Bitcoin. A Tabela 2, apresenta a análise descritiva da amostra utilizada na análise do período anterior à pandemia de COVID-19.

Tabela 3 – Estatística descritiva do preço das criptomoedas no período anterior ao início da pandemia de COVID-19, de 18 de janeiro de 2017 a 04 de março de 2020

PERÍODO ANTERIOR À PANDEMIA DE COVID-19					
Ativo	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
SUBAMOSTRA 1					
BTC	787	-23,87	22,51	0,29	4,88
ETH	787	-27,16	39,14	0,39	6,87
XRP	787	-54,97	75,08	0,45	8,69
LTC	787	-39,50	53,98	0,35	7,33
XLM	787	-42,96	129,92	0,40	10,30
SUBAMOSTRA 2					
BTC	787	-23,87	22,51	0,29	4,88
ETH	787	-27,16	39,14	0,39	6,87
XRP	787	-54,97	75,08	0,45	8,69
LTC	787	-39,50	53,98	0,35	7,33
XLM	787	-42,96	129,92	0,40	10,30
SUBAMOSTRA 3					
BTC	787	-23,87	22,51	0,29	4,88
ETH	787	-27,16	39,14	0,39	6,87
XRP	787	-54,97	75,08	0,45	8,69
LTC	787	-39,50	53,98	0,35	7,33
XLM	787	-42,96	129,92	0,40	10,30
SUBAMOSTRA 4					
BTC	787	-23,87	22,51	0,29	4,88
ETH	787	-27,16	39,14	0,39	6,87
XRP	787	-54,97	75,08	0,45	8,69
LTC	787	-39,50	53,98	0,35	7,33
XLM	787	-42,96	129,92	0,40	10,30
SUBAMOSTRA 5					
BTC	787	-23,87	22,51	0,29	4,88
ETH	787	-27,16	39,14	0,39	6,87
XRP	787	-54,97	75,08	0,45	8,69
LTC	787	-39,5	53,98	0,35	7,33
XLM	787	-42,96	129,92	0,40	10,30

Fonte: autora (2021).

Através da análise da Tabela 2, é possível verificar que cada uma das 5 subamostras também ficou formada pelas cinco criptomoedas selecionadas no estudo. Entretanto, há 787 observações de cada criptomoeda em cada subamostra. A estatística descritiva demonstra que a criptomoeda que obteve a maior perda, durante o período anterior à pandemia, foi o Ripple e

a menor perda foi o Bitcoin. Por sua vez, a criptomoeda que obteve maior retorno foi a Stellar e o que obteve menor retorno foi o Bitcoin. Quanto à média de retornos, o Ripple obteve o maior e o Bitcoin obteve o menor valor. Por fim, verifica-se que, dentre todas as criptomoedas, o desvio padrão dos retornos foi maior para a Stellar e menor para o Bitcoin. A Tabela 3, apresenta a análise descritiva da amostra utilizada na análise do período posterior ao início da pandemia de COVID-19.

Tabela 4 – Estatística descritiva do preço das criptomoedas no período anterior ao início da pandemia de COVID-19, de 18 de janeiro de 2020 a 30 de março de 2021.

PERÍODO APÓS INÍCIO DA PANDEMIA DE COVID-19					
Ativo	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
SUBAMOSTRA 1					
BTC	246	-14,25	19,15	0,89	4,30
ETH	246	-20,90	34,35	1,06	6,00
XRP	246	-55,05	62,67	0,48	8,33
LTC	246	-21,86	23,66	0,65	5,96
XLM	246	-24,87	55,92	0,93	7,91
SUBAMOSTRA 2					
BTC	246	-14,25	19,15	0,89	4,30
ETH	246	-20,90	34,35	1,06	6,00
XRP	246	-55,05	62,67	0,48	8,33
LTC	246	-21,86	23,66	0,65	5,96
XLM	246	-24,87	55,92	0,93	7,91
SUBAMOSTRA 3					
BTC	246	-14,25	19,15	0,89	4,30
ETH	246	-20,90	34,35	1,06	6,00
XRP	246	-55,05	62,67	0,48	8,33
LTC	246	-21,86	23,66	0,65	5,96
XLM	246	-24,87	55,92	0,93	7,91
SUBAMOSTRA 4					
BTC	246	-14,25	19,15	0,89	4,30
ETH	246	-20,90	34,35	1,06	6,00
XRP	246	-55,05	62,67	0,48	8,33
LTC	246	-21,86	23,66	0,65	5,96
XLM	246	-24,87	55,92	0,93	7,91
SUBAMOSTRA 5					
BTC	246	-14,25	19,15	0,89	4,30
ETH	246	-20,90	34,35	1,06	6,00
XRP	246	-55,05	62,67	0,48	8,33
LTC	246	-21,86	23,66	0,65	5,96
XLM	246	-24,87	55,92	0,93	7,91

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Por fim, conforme Tabela 3, verifica-se que cada uma das 5 subamostras utilizadas na análise do período pós início da pandemia de COVID19 ficou formada pelas cinco criptomoedas selecionadas no estudo, com 246 observações de cada criptomoeda em cada subamostra. A estatística descritiva demonstra que a criptomoeda que obteve a maior perda, durante esse período, foi o Ripple e a menor perda foi o Bitcoin. Por sua vez, a criptomoeda que obteve maior retorno foi o Ripple e o que obteve menor retorno foi o Bitcoin. Quanto à média de retornos, o Ripple obteve o menor e a Ethereum obteve o maior valor. Por fim, verifica-se que, dentre todas as criptomoedas, o desvio padrão dos retornos foi maior para o Ripple e menor para o Bitcoin. O quadro 1 apresenta um resumo da estatística descritiva nos 3 períodos analisados.

Quadro 1 – Resumo da estatística descritiva da amostra de criptomoedas

ESTATÍSTICA DESCRITIVA		PERÍODO TOTAL	PERÍODO ANTERIOR	PERÍODO POSTERIOR
Observações		1053	787	246
Mínimo	Maior perda	Ethereum	Stellar	Ripple
	Menor perda	Stellar	Bitcoin	Bitcoin
Máximo	Maior retorno	Stellar	Stellar	Ripple
	Menor retorno	Bitcoin	Bitcoin	Bitcoin
Média	Maior valor	Ethereum	Ripple	Ethereum
	Menor valor	Litecoin	Bitcoin	Ripple
Desvio Padrão	Maior valor	Stellar	Stellar	Ripple
	Menor valor	Bitcoin	Bitcoin	Bitcoin

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.2 RESULTADOS DOS MODELOS DE COMPOSIÇÃO DE PORTFÓLIO

A próxima análise realizada, consiste na verificação do comportamento das carteiras através da aplicação dos modelos de composição de portfólio, sendo eles: média variância, semi variância média, perda esperada, desvio médio absoluto e ômega. Dessa forma, buscou-se contemplar diferentes perfis de investidores. Primeiramente foram analisados os resultados obtidos através da aplicação do modelo de média variância, conforme Tabela 4.

Tabela 5 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo de média variância referentes à participação das criptomoedas nas carteiras

CARTEIRAS MÉDIA VARIÂNCIA					
Ativo	Carteira 1	Carteira 2	Carteira 3	Carteira 4	Carteira 5
PERÍODO TOTAL (%)					
BTC	0,00	0,10	0,30	0,00	0,30
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO ANTERIOR À PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	1,60	2,10	1,90	1,80	1,70
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO APÓS INÍCIO DA PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	2,00	0,00	0,10	0,30	0,10
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Verifica-se que, considerando o período total, apenas o Bitcoin foi selecionado através da aplicação do modelo de média variância e esta situação ocorre em 3 das 5 carteiras analisadas, sendo que as porcentagens de alocação de recursos na criptomoeda dentro dessas carteiras foram de 0,10% em uma delas e 0,30% nas outras duas. No período anterior à pandemia de COVID-19, o Bitcoin também foi a única criptomoeda selecionada, entretanto este fato ocorreu nas 5 carteiras, com menor alocação de 1,60% e maior alocação de 2,10%. No período após início da pandemia, o Bitcoin também foi a única criptomoeda selecionada e esta seleção ocorreu em 4 das 5 carteiras, com menor alocação de 0,10% e maior alocação de 2,00%. Por sua vez, a Tabela 5 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do modelo de semi variância.

Tabela 6 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo de semivariância média referentes à participação das criptomoedas nas carteiras.

CARTEIRAS SEMI VARIÂNCIA MÉDIA					
Ativo	Carteira 1	Carteira 2	Carteira 3	Carteira 4	Carteira 5
PERÍODO TOTAL (%)					
BTC	0,80	1,10	1,10	1,10	1,20
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO ANTERIOR À PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	1,50	1,70	1,70	1,70	1,70
ETH	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,10	0,10	0,00	0,10
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO APÓS INÍCIO DA PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	2,60	1,50	1,20	1,30	0,50
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Conforme Tabela 5, na análise do período total, apenas o Bitcoin foi selecionado através da aplicação do modelo de semi variância média e esta situação ocorre em todas as carteiras analisadas, sendo que a porcentagem máxima de alocação de recursos na criptomoeda dentro dessas carteiras foi de 1,20% e a mínima foi de 0,80%. No período anterior à pandemia de COVID-19, o Bitcoin foi selecionado em todas as carteiras com alocação máxima de 1,70% e mínima de 1,50%, entretanto ele não foi o único. A Ethereum foi selecionada em 1 das 5 carteiras com 0,10% de alocação e o Ripple foi selecionado em 3 das 5 carteiras com 0,10% de alocação. Por fim, no período após início da pandemia, o Bitcoin e o Ripple foram selecionados em 5 e 1 carteira, respectivamente. O Bitcoin obteve alocação mínima de 0,50% e máxima de 2,60%, por sua vez, o Ripple obteve a alocação de 0,10%. Por sua vez, a Tabela 6 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do modelo de desvio absoluto médio.

Tabela 7 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo de desvio absoluto médio referentes à participação das criptomoedas nas carteiras.

CARTEIRAS DESVIO ABSOLUTO MÉDIO					
Ativo	Carteira 1	Carteira 2	Carteira 3	Carteira 4	Carteira 5
PERÍODO TOTAL (%)					
BTC	1,40	1,40	1,40	1,20	1,50
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,10	0,10	0,00	0,00
PERÍODO ANTERIOR À PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	0,80	1,10	1,30	1,00	1,00
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO APÓS INÍCIO DA PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	1,00	0,70	0,80	0,40	0,80
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A Tabela 6 demonstra que, no período total, apenas o Bitcoin foi selecionado na composição do portfólio através da aplicação do modelo de desvio absoluto médio e esta situação ocorre em todas as carteiras analisadas, sendo que a porcentagem máxima de alocação de recursos na criptomoeda dentro dessas carteiras foi de 1,20% e a mínima foi de 0,80%. No período anterior à pandemia de COVID-19, o Bitcoin foi selecionado em todas as carteiras com alocação máxima de 1,70% e mínima de 1,50%, entretanto ele não foi o único. A Ethereum foi selecionada em 1 das 5 carteiras com 0,10% de alocação e o Ripple foi selecionado em 3 das 5 carteiras com 0,10% de alocação. Por fim, no período após início da pandemia, o Bitcoin e o Ripple foram selecionados em 5 e 1 carteira, respectivamente. O Bitcoin obteve alocação mínima de 0,50% e máxima de 2,60%, por sua vez, o Ripple obteve a alocação de 0,10%. Por sua vez, a Tabela 7 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do modelo de perda esperada.

Tabela 8 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo de perda esperada referentes à participação das criptomoedas nas carteiras.

CARTEIRAS PERDA ESPERADA					
Ativo	Carteira 1	Carteira 2	Carteira 3	Carteira 4	Carteira 5
PERÍODO TOTAL (%)					
BTC	2,80	3,60	3,30	2,80	4,40
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO ANTERIOR À PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	2,60	1,70	2,90	2,80	4,60
ETH	0,80	0,50	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO APÓS INÍCIO DA PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	0,00	0,00	1,40	0,40	0,00
ETH	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: autora (2021).

Conforme Tabela 7, na análise do período total, apenas o Bitcoin foi selecionado para compor o portfólio de perda esperada e esta situação ocorre em todas as carteiras analisadas, sendo que a porcentagem máxima de alocação de recursos na criptomoeda dentro dessas carteiras foi de 4,40% e a mínima foi de 2,80%. No período anterior à pandemia de COVID-19, o Bitcoin também foi selecionado em todas as carteiras com alocação máxima de 4,60% e mínima de 1,70%, entretanto ele não foi o único. A Ethereum foi selecionada em 2 das 5 carteiras com 0,80% e 0,50% de alocação e o Litecoin foi selecionado em 1 das 5 carteiras com 0,70% de alocação. Por sua vez, no período após início da pandemia, o Bitcoin e a Ethereum foram selecionados em 2 e 1 carteira, respectivamente. O Bitcoin obteve alocação mínima de 0,40% e máxima de 1,40%, por sua vez, a Ethereum obteve a alocação de 0,50%. Por fim, a Tabela 8 apresenta os resultados obtidos através da aplicação do modelo ômega.

Tabela 9 – Resultados obtidos através da aplicação do modelo ômega referentes à participação das criptomoedas nas carteiras.

CARTEIRAS ÔMEGA					
Ativo	Carteira 1	Carteira 2	Carteira 3	Carteira 4	Carteira 5
PERÍODO TOTAL (%)					
BTC	0,90	0,90	0,90	0,70	0,80
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO ANTERIOR À PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00
ETH	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XRP	0,20	0,20	0,40	0,20	0,30
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PERÍODO APÓS INÍCIO DA PANDEMIA DE COVID-19 (%)					
BTC	24,90	27,30	22,70	24,80	24,10
ETH	0,80	0,60	0,00	0,60	0,00
XRP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LTC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
XLM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: autora (2021).

A análise da Tabela 8 permite verificar que, considerando o período total, apenas o Bitcoin foi selecionado para compor o portfólio ômega e esta situação ocorre em todas as carteiras analisadas, sendo que a porcentagem máxima de alocação de recursos na criptomoeda dentro dessas carteiras foi de 0,90% e a mínima foi de 0,70%. No período anterior à pandemia de COVID-19, o Bitcoin e o Ripple foram selecionados em todas as carteiras, sendo que o Bitcoin obteve alocação máxima de 1,00% e mínima de 0,80%, e o Ripple obteve alocação máxima de 0,40% e mínima de 0,20%. Por sua vez, no período após início da pandemia, o Bitcoin foi selecionado em todas as carteiras com alocação máxima de 27,30% e mínima de 22,70%. Entretanto, ele não foi o único, a Ethereum foi selecionada em 3 carteiras com alocação máxima de 0,80% e mínima de 0,60%. O Quadro 2 apresenta um resumo dos resultados obtidos através da aplicação de cada modelo selecionado no estudo.

Quadro 2 – Resumo dos resultados obtidos através da aplicação dos modelos.

PORTFÓLIO	PERÍODO TOTAL	PERÍODO ANTERIOR	PERÍODO POSTERIOR
Média variância	O Bitcoin foi selecionado em 3 subamostras com alocação máxima de 0,30% e mínima de 0,10%.	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 2,10% e mínima de 1,60%.	O Bitcoin foi selecionado em 5 subamostras com alocação máxima de 2,00% e mínima de 0,10%.
Semi variância média	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 1,20% e mínima de 0,80%.	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 1,70% e mínima de 1,50%. A Ethereum foi selecionada em 1 carteira com alocação de 0,10%. O Ripple foi selecionado em 3 carteiras com 0,10% de alocação em cada.	O Bitcoin foi selecionado nas 5 carteiras e obteve alocação mínima de 0,50% e máxima de 2,60%. O Ripple foi selecionado em 1 carteira com alocação de 0,10%
Desvio absoluto médio	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 1,20% e a mínima foi de 0,80%	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 1,70% e mínima de 1,50%. A Ethereum foi selecionada em 1 carteira com 0,10% de alocação. O Ripple foi selecionado em 3 carteiras com 0,10% de alocação.	O Bitcoin foi selecionado nas 5 carteiras, com alocação mínima de 0,50% e máxima de 2,60%. O Ripple foi selecionado em 1 carteira, com alocação de 0,10%
Perda esperada	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 4,40% e mínima de 2,80%.	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 4,60% e mínima de 1,70%. A Ethereum foi selecionada em 2 carteiras com 0,80% e 0,50% de alocação. O Litecoin foi selecionado em 1 carteira com 0,70% de alocação.	O Bitcoin foi selecionado em 2 carteiras com alocação de 0,40% e 1,40%. A Ethereum foi selecionada em 1 carteira com alocação de 0,50%.
ômega	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 0,90% e mínima de 0,70%	O Bitcoin e o Ripple foram selecionados nas 5 subamostras. O Bitcoin obteve a alocação máxima de 1,00% e mínima de 0,80%. O Ripple obteve a alocação máxima de 0,40% e mínima de 0,20%	O Bitcoin foi selecionado nas 5 subamostras com alocação máxima de 27,30% e mínima de 22,70%. A Ethereum foi selecionada em 3 carteiras com alocação máxima de 0,80% e mínima de 0,60%.

Fonte: autora (2021).

Através da análise do Quadro 2, é possível verificar que o Bitcoin foi a criptomoeda com resultados mais consistentes, com participação na maioria das carteiras em todos os períodos analisados. Além disso, a Ethereum e o Ripple também demonstraram bons resultados. Por sua vez, o Litecoin não obteve resultados consistentes, visto que foi selecionado em apenas uma carteira no período pós pandemia. Por fim, a Stellar foi a única criptomoeda que não foi selecionada para composição do portfólio em nenhuma das metodologias aplicadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As decisões financeiras, sejam simples ou complexas, estão presentes nas vidas de todas as pessoas e envolvem expectativas de retorno de quem as toma. Este estudo focou nos retornos financeiros, resultantes das escolhas de investimento, e visou identificar os ativos potenciais para composição do portfólio. Dentro da ampla gama de ativos financeiros disponíveis, estão as criptomoedas. As criptomoedas são moedas digitais, um meio de pagamento que não precisa de moedas ou notas físicas e pode existir somente on-line. Essa inovação financeira se baseia em criptografia e todas as suas transações são registradas e armazenadas digitalmente, através de uma tecnologia que compartilha dados contábeis, conhecida como *blockchain* (BALCILAR; ROUBAUD, 2017).

As moedas virtuais consistem em uma modalidade relativamente nova de ativos, visto que o Bitcoin – considerado como a primeira criptomoeda bem-sucedida disponível no mercado – completou sua primeira década em 2018, o que pode ser considerado recente visto que o mercado de ações tradicionais surgiu no século 17, tendo bastante tempo para ser manipulado (BAUMÖHL, 2019; STRINGHAM, 2015). Ou seja, trata-se de um momento importante para a realização de estudos visto que este mercado está começando a acumular dados suficientes para análises empíricas.

Entretanto, ainda que o número de adeptos às criptomoedas venha crescendo, o grau de aceitação por parte das pessoas ainda é considerado baixo (MOTA, 2019). Essa aparente aversão quanto ao seu uso como ativo de investimento, pode estar relacionada com a falta de conhecimento dos investidores. Antes de considerar esses ativos como opções potenciais, mostra-se necessário que as pessoas entendam seu funcionamento, suas características e expectativas. Assim, o estudo buscou comprovar empiricamente a contribuição das moedas virtuais na diversificação dos investimentos, verificando em que medida as criptomoedas podem proporcionar otimização ao portfólio. Além disso, apresentou o levantamento de informações que visam clarificar o funcionamento desse tipo de ativo, a fim de ampliar o conhecimento de potenciais investidores e pesquisadores da área. Nesse contexto, o estudo objetivou responder à seguinte questão: Qual é a contribuição das moedas virtuais na diversificação do portfólio?

Para responder à questão de pesquisa, mostra-se necessário analisar as diversas possibilidades de investimento, o que não consiste em uma tarefa fácil. Nesse sentido, foram desenvolvidas teorias e metodologias para auxiliar na escolha dos ativos para composição da carteira ideal. A pesquisa teve como base a teoria do portfólio de Markowitz (1952) que visa a

otimização de carteiras através da diversificação, sendo que seu ponto chave está na combinação de ativos que possuem as melhores relações entre risco e retorno. Na prática, não é possível que todo o risco seja eliminado, mas através da diversificação é possível minimizá-lo. Portanto, entender a importância da diversificação pode ajudar os gerentes financeiros a obter portfólios de desempenho superior.

Essa alocação ou diversificação entre ativos, pode ser específica para cada caso, de acordo com os graus preferidos de aversão ou afinidade ao risco do investidor e, em certos casos, até condições específicas do investimento (SHAH; JAMMALAMADAKA, 2017). Desta forma, foram selecionados cinco modelos de composição de portfólio com base na adequação ao objetivo de estudo e na necessidade de se englobar diferentes perfis de investidores, a fim de realizar uma análise mais ampla e prudente quanto à contribuição dos ativos nos portfólios. Os modelos selecionados foram a média variância, a semi variância média, a perda esperada, o desvio médio absoluto e o ômega.

O tipo de pesquisa utilizado no estudo foi o descritivo, pois teve por objetivo verificar os efeitos da adição de criptomoedas ao portfólio, ou, mais precisamente, os efeitos sobre o retorno e o risco de tais carteiras. Quanto sua abordagem, consistiu em um estudo quantitativo, pois utilizou a coleta e análise de dados com aplicação de técnicas estatísticas. Em relação à amostra, optou-se por fracioná-la em 5 subamostras com o objetivo de evitar viés e proporcionar uma maior robustez aos resultados. Cada subamostra foi composta por 100 ações e 5 criptomoedas e todas elas foram analisadas, a fim de obter conclusões mais consistentes.

As criptomoedas utilizadas na pesquisa foram o Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Ripple (XRP), Litecoin (LTC) e Stellar (XLM). A escolha dessas moedas deu-se devido à disponibilidade de dados necessários para o período delimitado de 18 de janeiro de 2017 a 30 de março de 2021. Houve uma ponderação entre a quantidade de criptomoedas e o período de estudo a fim de garantir uma quantidade interessante de ambos os fatores que proporcione análises seguras. Salienta-se que a grande maioria das criptomoedas é recente e, desta forma, seus dados são insuficientes para análise.

As ações corresponderam a todas aquelas listadas na Standard & Poor's 500, um índice composto por quinhentos ativos cotados nas bolsas do The New York Stock Exchange (NYSE) ou da National Association of Securities Dealers Automated Quotations (NASDAQ), qualificados devido ao seu tamanho de mercado, sua liquidez e sua representação de grupo industrial. Os dados referentes às ações foram coletados da Standard & Poor's e os referentes às criptomoedas, do Coinmarketcap.

Além disso, salienta-se os reflexos da pandemia mundial de COVID-19 no desenvolvimento do estudo. Após a realização dos primeiros cálculos, o cenário mundial alterou-se drasticamente, e, desta forma, foi realizada uma análise adicional do comportamento dos ativos nas carteiras, considerando os períodos anterior e posterior ao início da pandemia. Assim, buscou-se evitar vieses na análise do comportamento das criptomoedas, verificando, ainda, um possível impacto exógeno no mercado desses ativos. Nesta análise, a primeira amostra compreendeu o período entre 18 de janeiro de 2017 e 04 de março de 2020 (marcando o momento anterior à pandemia), e a segunda amostra compreendeu o período entre 18 de janeiro de 2020 e 30 de março de 2021 (marcando o momento posterior ao início da pandemia).

Os resultados obtidos através da estatística descritiva apontaram que a criptomoeda que obteve a maior perda, durante o período total, foi a Ethereum e a menor perda foi a Stellar. Por sua vez, a criptomoeda que obteve maior retorno foi a Stellar e o que obteve menor ganho foi o Bitcoin. Quanto à média de retornos, o Litecoin obteve o menor e a Ethereum obteve o maior valor. Além disso, dentre todas as criptomoedas, o desvio padrão dos retornos foi maior para a Stellar e menor para o Bitcoin.

Em relação ao período anterior ao início da pandemia de COVID-19, a criptomoeda que obteve a maior perda, foi o Ripple e a menor perda foi o Bitcoin. Por sua vez, a criptomoeda que obteve maior retorno foi a Stellar e o que obteve menor retorno foi o Bitcoin. Quanto à média de retornos, o Ripple obteve o maior e o Bitcoin obteve o menor valor. Verificou-se, também, que dentre todas as criptomoedas, o desvio padrão dos retornos foi maior para a Stellar e menor para o Bitcoin.

Em relação ao período posterior ao início da pandemia, a criptomoeda que obteve a maior perda, foi o Ripple e a menor perda foi o Bitcoin. Por sua vez, a criptomoeda que obteve maior retorno foi o Ripple e o que obteve menor retorno foi o Bitcoin. Quanto à média de retornos, o Ripple obteve o menor e a Ethereum obteve o maior valor. Por fim, verificou-se que, dentre todas as criptomoedas, o desvio padrão dos retornos foi maior para o Ripple e menor para o Bitcoin.

Por sua vez, os resultados obtidos através da aplicação dos modelos de composição de portfólio apontaram que o Bitcoin foi selecionado para compor as carteiras formadas pelas cinco metodologias com uma alocação que variou entre 0,10% e 4,40%. Esses resultados referem-se ao período total e foram consistentes na grande maioria das subamostras.

No que se refere ao período anterior ao início da pandemia de COVID-19, o Bitcoin foi selecionado em todas as carteiras e em todas as metodologias, com uma alocação que variou entre 0,80% e 4,60%. A Ethereum foi selecionada através das metodologias de semi variância

media (com alocação de 0,10% em uma das cinco carteiras) e desvio absoluto médio (também com alocação de 0,10% em uma carteira) e perda esperada (com alocação entre 0,50% e 0,80% em duas carteiras). O Ripple foi selecionado através das metodologias de semivariância média (com alocação de 0,10% em três carteiras), desvio absoluto médio (também com alocação de 0,10% em três carteiras) e ômega (com alocação entre 0,20% e 0,40% e esse resultado foi consistente nas cinco carteiras). O Litecoin foi selecionado em apenas uma das cinco carteiras formadas através da metodologia de perda esperada, com 0,70% de alocação.

Por fim, a análise do período posterior ao início da pandemia demonstrou que o Bitcoin foi selecionado para compor a grande maioria das carteiras formadas através das cinco metodologias, com uma alocação de variou entre 0,10% e 27,30% (um aumento percentual considerável em relação ao período anterior à pandemia). O Ripple foi selecionado para compor as carteiras formadas através das metodologias de semivariância média e desvio absoluto médio (ambas com alocação de 0,10% em uma das cinco carteiras). A Ethereum foi selecionada para compor as carteiras formadas através das metodologias de perda esperada (com alocação de 0,50% em uma carteira) e ômega (com alocação entre 0,60% e 0,80% em três carteiras).

Desta forma, todas as hipóteses do estudo foram confirmadas, sendo elas:

Hipótese 1: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através do modelo de média-variância.

Hipótese 2: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através do modelo de semi variância média.

Hipótese 3: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através do modelo de desvio médio absoluto.

Hipótese 4: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através da aplicação do modelo ômega.

Hipótese 5: Pelo menos uma das criptomoedas selecionadas no estudo comporá a carteira ideal formada através do modelo de perda esperada.

Verifica-se que o Bitcoin foi a criptomoeda com resultados mais consistentes, com participação na maioria das carteiras em todos os períodos analisados. Entretanto, a Ethereum e o Ripple também demonstraram bons resultados. O Litecoin não obteve resultados consistentes, visto que foi selecionado em apenas uma carteira no período pós pandemia. A Stellar foi a única criptomoeda que não foi selecionada para composição do portfólio em nenhuma das metodologias aplicadas.

Os resultados são consistentes com aqueles verificados em outros estudos. Segundo Wu (2014), o Bitcoin pode desempenhar um papel importante no aprimoramento da eficiência do

portfólio de um investidor. Pinudom et al. (2018) verificaram, em sua pesquisa, que a carteira com bitcoin mostrou uma maior taxa de retorno do que aqueles sem Bitcoin. Symitsi e Chalvatzis (2019) também avaliaram o desempenho do Bitcoin em portfólios e encontraram benefícios de diversificação estatisticamente significativos com a sua inclusão. Kajtazi e Moro (2019) exploraram os efeitos da adição de Bitcoin em carteiras de ativos dos EUA, europeus e chineses e verificaram que, adicionando bitcoin, o desempenho do portfólio melhora. Platanakis e Urquhart (2020) corroboram com esse entendimento de que os benefícios do Bitcoin são bastante consideráveis com retornos ajustados ao risco substancialmente mais altos e sugerem que os investidores incluam o Bitcoin em seu portfólio.

A Ethereum também demonstrou bons resultados na diversificação e esse achado é consistente com os obtidos por Leung e Nguyen (2018) e Ehlers e Gauer (2019) que verificaram que a adição da criptomoeda ao portfólio demonstrou-se lucrativa e contribuiu para a redução da variação da carteira. Outra moeda virtual que apresentou bons resultados foi o Ripple, assim como nos estudos de Dorfleitner e Lung (2018) que verificaram que a criptomoeda produziu benefícios significativos de diversificação ao ser adicionada a um portfólio de referência bem diversificado.

Verifica-se que as criptomoedas podem gerar benefícios de diversificação e contribuir com o retorno dos investimentos ao serem alocadas pelos investidores em suas carteiras. Entretanto, é necessário cautela, pois trata-se de um ativo de risco e, desta forma, deve compor a parcela da carteira destinada a este tipo de investimento. Além disso, por se tratar de uma modalidade relativamente nova, muitos cenários futuros são possíveis, desde a adoção em massa das criptomoedas, até sua morte. Salienta-se, ainda, a necessidade de melhorias em seu funcionamento, principalmente no que se refere ao desperdício causado pela ineficiência energética.

Não se pretende aqui colocar um ponto final no estudo das criptomoedas como ativo de investimento, mas contribuir com a literatura, buscando explorar o conhecimento, mitigar as incertezas e incentivar o pensamento crítico em relação às finanças no mundo moderno, visto que estamos vivendo um período repleto de inovações.

Algumas limitações foram verificadas durante o desenvolvimento do estudo. A maioria das criptomoedas tem origem recente e a necessidade de delimitação de um período suficiente de tempo impediu a análise de uma quantidade maior de criptomoedas, no futuro, espera-se acumular dados históricos suficientes para inclusão de outras criptomoedas na análise. Outra limitação consiste na carência de informações advindas de fontes seguras relacionadas às demais criptomoedas, além do Bitcoin. Espera-se que os estudos acadêmicos comecem a

englobar diferentes moedas virtuais em sua análise. Além disso, sugere-se que os estudos futuros englobem outras modalidades de ativo na análise das carteiras.

REFERÊNCIAS

- AAKER, D. A.; KUMAR, V.; DAY, G. S. **Pesquisa de marketing**. São Paulo: Atlas, 2004.
- AGGARWAL, S.; SANTOSH, M.; BEDI, P. 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. Springer: Cham, 2018.
- ALEXANDER, C. **Market risk analysis volume IV: value at risk models**. London: John Wiley & Sons, 2008.
- ALI, B.; ARNESEN, F. 2018. **Bitcoin's financial risk properties in a global portfolio**. Faculty of Science and Technology. Dissertação (Mestrado em Economia Industrial) – Universitetet i Stavanger, Stavanger, 2018.
- AMETRANO, F. M. **Hayek Money: The Cryptocurrency Price Stability Solution**, 2016. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2425270>.
- AMORIM, R. O.; MAGANINI, N. D. Bitcoins: investir ou não investir? Um estudo baseado na diversificação de carteiras e na teoria dos multifractais. In: USP International Conference in Accounting, XIX., 2019, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2019.
- ANDRIANTO, Y.; DIPUTRA, Y. The effect of cryptocurrency on investment portfolio effectiveness. **Journal of Finance and Accounting**, v. 5, n. 6, 2017.
- ANKALKOTI, P.; SANTHOSH, S. A relative study on bitcoin mining. **Imperial Journal of Interdisciplinary Research**, v. 3, n. 5, 2017.
- ANTONOPOULOS, A. M. **Mastering bitcoin: unlocking digital cryptocurrencies**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2014.
- ARCE, P. E. B. **Aplicação da teoria do portfólio para otimização de carteiras de contratos de energia elétrica e gestão de risco**. 2014. Dissertação (Mestrado em Sistemas Elétricos de Potência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- AUGUSTO, G. A. As origens do dinheiro: abordagem ontogenética e abordagem histórico-estrutural. **Revista de Economia**, v. 37, n. 3, p. 7-21, 2011.
- AZAD, S.; PATHAN, A.-S. K. **Practical cryptography: algorithms and implementations using C++**, 2015. Disponível em: <<http://site.ebrary.com/id/10961789>>. Acesso em: mar. 2021.
- BACMANN, J. F.; SCHOLZ, S. Alternative performance measures for hedge funds. **AIMA Journal**, jun. 2003.
- BADEV, A. I.; CHEN, M. **Bitcoin: technical background and data analysis**. FEDS Working Paper, 2014.

BAEK, C.; ELBECK, M. Bitcoins as an investment or speculative vehicle? A first look. **Applied Economics Letters**, v. 22, n. 1, p. 30-34, 2015.

BALCILAR, M.; ROUBAUD, D. Can volume predict Bitcoin returns and volatility? A quantiles-based approach. **Economic Modelling**, v. 64, p. 74-81, 2017.

BALLESTERO, E. Mean-Semivariance Efficient Frontier: A Downside Risk Model for Portfolio Selection. **Applied Mathematical Finance**, v. 12, n. 1, p. 1–15, 2005.

BANCO CENTRAL. **Resolução nº 2082, de 30 de junho de 1994**. Dispõe sobre os limites de emissão e a forma de lastreamento da nova unidade do Sistema. Banco Central, 1994.

BAUMÖHL, E. Are cryptocurrencies connected to forex? A quantile cross-spectral approach. **Finance Research Letters**, v. 29, p. 363-372, 2019.

BAUR, D.; LEE, A.; HONG, K. Bitcoin: currency or investment? **SSRN Electronic Journal**, 2015

BERNSTEIN, P. L.; DAMODARAN, A. **Administração de investimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

BERTSIMAS, D.; LAUREATE, G. J.; SAMAROV, A. Shortfall as a risk measure: properties, optimization and applications. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 28, p. 1353-1381, 2004.

BERTRAND, P.; PRIGENT, J.-L. Omega performance measure and portfolio insurance. **Journal of Banking & Finance**, Elsevier, v. 35, n. 7, p. 1811-1823, jul. 2011.

BIRYUKOV, A.; KHOVRATOVICH, D.; PUSTOGAROV, I. Deanonymisation of clients in bitcoin p2p network. In: ACM. **Proceedings of the 2014 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security**. [S.l.], 2014. p. 15-29.

BISSESSAR, A. M. **Development, political, and economic difficulties in the Caribbean**. Cham: Palgrave Macmillan, 2019.

BITCOIN MINING. **Bitcoin mining guide: getting started with bitcoin mining**. Página inicial. Disponível em: <<https://www.bitcoinmining.com/>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BITCOIN network power demands. **Judge Business School**. University of Cambridge. Cambridge, 2022. Disponível em: <https://ccaf.io/cbeci/index>. Acesso em: mar. 2021.

BOASSON, V.; BÓASSON, E.; ZHOU, Z. Portfolio optimization in a mean-semivariance framework. **Investment management & financial innovations**, v. 8, 2017.

BODIE, Z.; KANE, A. **Investments and portfolio management**. Boston: McGraw-Hill, 2011.

BRASIL. Instrução Normativa nº 1.888, de 3 de maio de 2019. Institui e disciplina a obrigatoriedade de prestação de informações relativas às operações realizadas com

criptoativos à Secretaria Especial da Receita Federal do Brasil (RFB). **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 mai. 2019. Seção 1, p. 14.

BRAUNEIS, A.; MESTEL, R. Price discovery of cryptocurrencies: bitcoin and beyond. **Economics Letters**, v. 165, p. 58-61, 2018.

BREALEY, R.; MYERS, S. **Principles of corporate finance**. 5. ed. New York: MacGraw-Hill, 1996.

BRIÈRE, M.; OOSTERLINCK, K.; SZAFARZ, A. Virtual currency, tangible return: portfolio diversification with bitcoin. **SSRN Electronic Journal**, v. 16, 2013.

BRITO, J.; CASTILLO, A. **Bitcoin: a primer for policymakers**. Virginia: Mercatus Center, 2013.

BROUGHTON, P. D. Bitcoin is just the beginning. **The Wall Street Journal**, New York, 26 mai. 2016.

CASA DA MOEDA DO BRASIL. **Origem do dinheiro**. 2021. Disponível em: <<https://www.casamoeada.gov.br/portal/socioambiental/cultural/origem-do-dinheiro.html>>. Acesso em: nov. 2021.

CIAIAN, P.; RAJCANIOVA, M.; KANCS, D. The economics of bitcoin price formation. **Applied Economics**, v. 48, p. 1799-1815, 2016.

CHEN, J. **Postmodern portfolio theory: navigating abnormal markets and investor behavior**. Londres: Palgrave Macmillan, 2016.

CHEN, J. Conditional Value at Risk (CVaR). **Ivestopedia**, 13 mai. 2020. Disponível em: <https://www.investopedia.com/terms/c/conditional_value_at_risk.asp>. Acesso em: 9 nov. 2020.

CHERVINSKI, J. O. et al. Introdução aos Blockchains: Teoria e Prática. **XVII Escola Regional de Redes de Computadores**, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5753/sbc.5929.0.1>>. Acesso em: jul. 2020.

CHIU, J.; KOEPPL, T. The economics of cryptocurrencies bitcoin and beyond. **SSRN Electronic Journal**, 2017.

CHUEN, D.; GUO, L.; WANG, Y. Cryptocurrency: a new investment opportunity? **SSRN Electronic Journal**, 2017.

LEIBOWITZ, D. G. Bitcoin Is a Big Opportunity for Investors in the Debt-Fueled Roaring Twenties. **Coindesk**, 1 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.coindesk.com/bitcoin-is-a-big-opportunity-for-investors-in-the-debt-fueled-roaring-twenties>>. Acesso em: 9 nov. 2020.

COINMARKETCAP. **CoinMarketCap**: cryptocurrency prices, charts and market capitalizations. Página inicial. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

COINTIMES. Onde e como comprar Bitcoin no Brasil, **Cointimes**, 2020. Disponível em: <<https://cointimes.com.br/onde-e-como-comprar-bitcoin-no-brasil/>>. Acesso em: 9 nov. 2020.

CORBET, S. et al. Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. **Economics Letters**, v. 165, p. 28-34, 2018.

CUSTODIO, J. E. S. C. 2016. **Método analítico para a otimização de portfólios de energia elétrica**. 2016. 52 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

DAMODARAN, A. **Avaliação de Investimentos**: Ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

EASLEY, D.; O'HARA, M.; BASU, S. From mining to markets: the evolution of bitcoin transaction fees. **Journal of Financial Economics**, v. 134, n. 1, p. 91-109, 2019.

DORFLEITNER, G.; LUNG, C. Cryptocurrencies from the perspective of euro investors: a re-examination of diversification benefits and a new day-of-the-week effect. **Journal of Asset Management**, 2018.

DOWD, K. **New Private Monies: A Bit-Part Player?** London: Institute of Economic Affairs, 2014.

EHLERS, S.; GAUER, K. Beyond bitcoin: a statistical comparison of leading cryptocurrencies and fiat currencies and their impact on portfolio diversification. **The Journal of Alternative Investments**, v. 22, n. 1, p. 114-125, 2019.

EISL, A.; GASSER, S.; WEINMAYER, K. Caveat Emptor: does bitcoin improve portfolio diversification? **SSRN Electronic Journal**, 2015.

ELTON, E. et al. **Modern portfolio theory and investment analysis**, 6. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2003.

FAMA, E. The behaviour of stock market prices. **Journal of Business**, v. 64, p. 34-105, 1965.

_____. Efficient capital markets: a review of theory and empirical work. **Journal of Finance**, v. 25, n. 2, p. 383-417, 1970.

FRANCO, A.; BAZAN, V. **Criptomoedas: melhor que dinheiro**. São Paulo: Empiricus, 2018.

FRY, J.; CHEAH, J. Negative bubbles and shocks in cryptocurrency markets. **International Review of Financial Analysis**, v. 47, 2016.

FOLEY, S.; KARLSEN J.; PUTNIŃŠ, T. Sex, drugs, and bitcoin: how much illegal activity is financed through cryptocurrencies? **The Review of Financial Studies**, v. 32, n. 5, 2019.

- FOXBIT. Saiba como funcionam as taxas de transação do Bitcoin. **Foxbit**, 4 jul. 2017. Disponível em: <<https://foxbit.com.br/blog/saiba-como-funcionam-as-taxas-de-transacao-do-bitcoin/>>. Acesso em: 2 nov. 2020.
- FTITI, Z. et al. Portfolio diversification with virtual currency: evidence from bitcoin. **International Review of Financial Analysis**, v. 63, 2018.
- GANDAL, N.; HALABURDA, H. Can we predict the winner in a market with network effects? Competition in cryptocurrency market. **Games**, v. 7, n. 16, 2016.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- GIONGO, J.; BALESTRO, G. Os impactos da utilização da tecnologia Blockchain para a área contábil e financeira. In: CONVENÇÃO DE CONTABILIDADE DO RIO GRANDE DO SUL, XVII., 14 a 16 de agosto de 2019, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, 2019. Disponível em: <http://www.crcrs.org.br/convencao/trabalhos/12_914_impactos_utilizacao_tecnologia_blockhain.pdf>. Acesso em: mar. 2021.
- GKILLAS, G.; KATSIAMPA, P. An application of extreme value theory to cryptocurrencies. **Economics Letters**, v. 164, p. 109-111, 2018.
- GLASER, F. et al. Bitcoin - asset or currency? Revealing users' hidden intentions. In: European Conference on Information Systems, 2014, Israel. **Anais...** Israel: ECIS, 2014. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2425247>. Acesso em: 4 jul. 2020.
- GONÇALVES, C. B. **Casa da Moeda do Brasil: 290 anos de história, 1694/1984**. Casa da Moeda do Brasil, 1984.
- GORARD, S. Introducing the mean absolute deviation “effect” size. **International Journal of Research & Method in Education**, v. 38, n. 2, p. 105-114, 2014. Disponível em: <[doi:10.1080/1743727x.2014.920810](https://doi.org/10.1080/1743727x.2014.920810)>. Acesso em: fev. 2021.
- GREGERSEN, E. Bitcoin. In: **Encyclopædia Britannica**. Chicago: Encyclopædia Britannica, Inc., 2018.
- GUJ, P. Project evaluation: Dealing with uncertainty and risk. In: MAXWELL, P. **Australian Mineral Economics**. Australia: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2013. p. 145-178.
- HALABURDA, H. **Digital currencies: beyond bitcoin**. Londres: Palgrave Macmillan, 2016.
- HALABURDA, H; GANDAL, N. Can we predict the winner in a market with network effects? Competition in cryptocurrency market. **Games**, v. 7, p. 14-17, 2016.
- HEID, A. **Analysis of the cryptocurrency marketplace**. Miami: International University, 2014.

HIRAI, Y. Defining the ethereum virtual machine for interactive theorem provers. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 10323, 2017.

HONG, K. Bitcoin as an alternative investment vehicle. **Information Technology and Management**, v. 18, 2016.

IGLESIAS, M. C. **Investimentos**: textos para nunca mais esquecer. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.

IMMONEN, E. A quantitative description for efficient financial markets. **Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications**, v. 433, p. 171-181, 2015.

JORNAL DO COMÉRCIO. Discussão sobre bolha do bitcoin ganha força. **Jornal do Comércio**, 02 jan. 2018. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/2017/12/cadernos/empresas_e_negocios/602247-discussao-sobre-bolha-do-bitcoin-ganha-forca.html>. Acesso em: 9 fev. 2020.

KAJTAZI, A.; MORO, A. Bitcoin, portfolio diversification and Chinese financial markets. **SSRN Electronic Journal**, 2017.

KAJTAZI, A.; MORO, A. The role of bitcoin in well diversified portfolios: a comparative global study. **International Review of Financial Analysis**, v. 61, p. 143-157, 2019.

KARIM, M.; TOMOVA, G. **Research Note**: Cryptoasset consumer research. 2021. Disponível em: <<https://www.fca.org.uk/publications/research/research-note-cryptoasset-consumer-research-2021#lf-chapter-id-results>>. Acesso em: nov. 2021.

KASPERSKY. **Uncharted territory**: why consumers are still wary about adopting cryptocurrency. 2019. Disponível em: <<https://www.kaspersky.com/blog/cryptocurrency-report-2019/>>. Acesso em: mar. 2021.

KEATING, C.; SHADWICK, W.F. A universal performance measure. **Journal of Performance Measurement**, v. 6, p. 59–84, 2002.

KING, S.; NADAL, S. **PPCoin**: Peer-to-Peer Crypto-Currency with Proof-of-Stake. Cidade: Editora, 2012.

KING, R. Blockchain: entenda o Proof of Work vs o Proof of Stake, 11 set. 2020. **Bitdegree**, 11 set. 2020. Disponível em: <<https://br.bitdegree.org/tutoriais/proof-of-work-vs-proof-of-stake/>>. Acesso em: 9 fev. 2020.

KONDOR, D. et al. Do the rich get richer? An empirical analysis of the bitcoin transaction network. **PLoS ONE**, v. 9, n. 2, 2014.

KONNO, H.; YAMAZAKI, H. Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo Stock Market. **Manage. Sci.**, v. 37, p. 519-531, 1991.

KOUTMOS, D. Bitcoin returns and transaction activity. **Economics Letters**, v. 167, p. 81-85, 2018.

KURIHARA, Y.; FUKUSHIMA, A. The market efficiency of bitcoin: a weekly anomaly perspective. **Journal of Applied Finance & Banking**, v. 7, n. 3, 2017.

KUTSYK, P.; REDCHENKO, K.; VORONKO, R. Management Control and Modern Decentralized Technologies. **Baltic Journal of Economic Studies**, v. 6, n. 4, p. 98-102, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.30525/2256-0742/2020-6-4-98-102>>. Acesso em: mar. 2021.

KWON, Y. et al. Be selfish and avoid dilemmas: Fork after withholding (faw) attacks on bitcoin. In: ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security, 2017, USA. **Anais...** USA: SIGSAC, 2017. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3133956.3134019>>. Acesso em: 4 jul. 2020.

LEUNG, T.; NGUYEN, H. Constructing cointegrated cryptocurrency portfolios for statistical arbitrage. **Studies in Economics and Finance**, v. 36, n. 3, p. 581-599, 2018.

LINDBLOM, T.; MAVRUK, T.; SJOGREN, S. **Proximity bias in investors' portfolio choice**. Londres: Palgrave Macmillan, 2017.

LINTNER, J. The valuation of risk assets and the selection of risk investments in stocks portfolios and capital budgets. **Review of Economics and Statistics**, v. 47, p. 13-37, 1965.

LIU, W. Portfolio diversification across cryptocurrencies. **Finance Research Letters**, v. 29, p. 200-205, 2019.

LOKHAVA, M. et al. Fast and secure global payments with Stellar. In: 27th ACM Symposium on Operating Systems Principles, 2019, USA. **Anais...** USA: SOSP, 2019. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3341301.3359636>>. Acesso em: 4 jul. 2020.

LOPES, J.; ROSSETTI, J. **Economia monetária**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MACEDO, L. L.; GODINHO, P.; ALVES, M. J. Mean-semivariance portfolio optimization with multiobjective evolutionary algorithms and technical analysis rules. **Expert Systems with Applications**, v. 79, p. 33-43, 2017. Disponível em: <[doi:10.1016/j.eswa.2017.02.033](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.033)>. Acesso em: jan. 2021.

MAEHARA, Y. E. et al. Proof-of-Stake baseado em Tempo Discreto. In: WORKSHOP EM BLOCKCHAIN: TEORIA, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES (WBLOCKCHAIN), 2019, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/wblockchain/article/view/7487>>. Acesso em: 4 jul. 2020.

MARKOWITZ, H. The early history of portfolio theory: 1600–1960. **Financial Analysts Journal**, v. 55, n. 4, p. 5-16, 1999.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **Journal of Finance**, v. 7, n. 1, 1952.

MARLING, H.; EMANUELSSON, S. **The Markowitz Portfolio Theory**, 2012.

MARTINS, T. F. **Prova de existência de arquivos digitais utilizando a tecnologia blockchain do protocolo Bitcoin**, 2018.

MCCAULEY, J.; BASSLER, K.; GUNARATNE, G. Martingales, nonstationary increments, and the efficient market hypothesis. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 387, n. 15, p. 3916-3920, 2008.

MENGER, C. On the origins of money. **Economic Journal**, v. 2, 1892.

MOORE, W.; STEPHEN, J. Should cryptocurrencies be included in the portfolio of international reserves held by central banks? **Cogent Economics & Finance**, v. 4, 2016.

MORGAN, J. P. **Risk metrics technical document**. 4. ed. New York: Morgan Guaranty Trust Company, 1996.

MOTA, M. A. **Bitcoin x mercado de ações: uma análise da variação dos índices das bolsas de valores tradicionais diante da maior alta histórica da criptomoeda**. 114 f. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Contábeis) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MUTAVDZIC, M.; MAYBEE, B. An extension of portfolio theory in selecting projects to construct a preferred portfolio of petroleum assets. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 133, p. 518-528, 2015.

NADEEM, M. Bitcoin's pygmalion effect: social entrepreneurs are a bit-curious in marketing a special kind of property! **International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences**, v. 7, n. 12, 2017.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**, 2008.

NOFER, M.; GOMBER, P.; HINZ, O. Blockchain. **Bus InfSystEng**, v. 59, n. 3, 2017.

PADMAVATHI, M.; SURESH, R. Secure P2P intelligent network transaction using litecoin. **Mobile Networks and Applications**, v. 24, 2018.

PAVKOVIĆ, A.; ANDELINOVIC, M.; PAVKOVIĆ, I. Achieving portfolio diversification through cryptocurrencies in European markets. **Business Systems Research Journal**, v. 10, 2019.

PESARAN, M. H. **Market Efficiency Today**. Working paper, n. 05-41. Stanford: Institute of Economic Policy Research, Stanford University, 2005.

PIPLSAY. **The great crypto rush: How are Americans investing in it?** Disponível em: <<https://piplsay.com/the-great-crypto-rush-how-are-americans-investing-in-it/>>. Acesso em: jan. 2021.

PLATANAKIS, E.; URQUHART, A. Should investors include bitcoin in their portfolios? A portfolio theory approach. **The British Accounting Review**, v. 52, n. 4, 2020.

PIERRO, M. D. What Is the Blockchain? **Computing in Science & Engineering**, v. 19, n. 5, p. 92-95, 2017. Disponível em: <doi:10.1109/mcse.2017.3421554>. Acesso em: abr. 2020.

PINUDOM, B. et al. Could bitcoin enhance the portfolio performance? **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1053, 2018.

QIN, Z. Random fuzzy mean-absolute deviation models for portfolio optimization problem with hybrid uncertainty. **Applied Soft Computing**, v. 56, p. 597-603, 2017. Disponível em: <doi:10.1016/j.asoc.2016.06.017>. Acesso em: jan. 2021.

QIU, M. **Lecture Notes in Computer Science**. Switzerland: Springer, 2019.

RAM, A. Bitcoin as a new asset class. **Meditari Accountancy Research**, v. 27, n. 1, p. 147-168, 2019.

REILLY, F.; BROWN, K. **Investment Analysis and Portfolio Management**, 4. ed. Florida: Harcourt College Publishers, 2000.

REIS, E. **Estatística descritiva**. Lisboa: Silabo, 1996.

ROCKAFELLAR, R. T.; URYASEV, S. Optimization of conditional value-at-risk. **Journal of Risk**, v. 2, p. 21-41, 2000.

ROCKAFELLAR, R. T.; URYASEV, S. Conditional value-at-risk for general loss distributions. **Journal of Banking & Finance**, v. 26, n. 7, p. 1443-1471, 2002.

RODRIGUES, A. J. **Metodologia científica: completo e essencial para a vida universitária**. Brasília: Avercamp, 2006.

ROGERS, P.; RIBEIRO, K. C. S.; SOUSA, A. F. Comparações múltiplas das carteiras de bolsa no Brasil: avaliação da performance do índice de governança corporativa. **Revista de Gestão da USP**, v. 12, n. 4, p. 55-72, 2005.

ROMERO, M. Índice de Sharpe: comparando as Carteiras Magnetis aos fundos multimercado. **Magnetis**, fev. 2019. Disponível em: <<https://blog.magnetis.com.br/indice-de-sharpe/>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

ROSS, S. A. et al. **Administração financeira**, 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.

ROUNAGHI, M. M.; ZADEH, N. F. Investigation of market efficiency and Financial Stability between S&P 500 and London Stock Exchange: Monthly and yearly Forecasting of Time Series Stock Returns using ARMA model. **Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications**, v. 456, p. 10-21, 2016.

RUSSO, C. The Bitcoin Rally Is Back. **Bloomberg**. 18 set. 2017. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-09-18/bitcoin-roars-back-from-chinese-regulation-spurred-swoon>>. Acesso em: 9 nov. 2020.

SALEH, F. Blockchain without waste: proof-of-stake. **Review of Financial Studies**, 2020.

- SANTOS, S.; BRANDI, H. Selecting portfolios for composite indexes: application of Modern Portfolio Theory to competitiveness. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, 2017.
- SCALA, A. et al. Portfolio analysis and geographical allocation of renewable sources: a stochastic approach. **Energy Policy**, v. 125, p. 154-159, 2019.
- SECURATO, J. R. **Decisões financeiras em condições de risco**. São Paulo: Atlas, 1996.
- SHAKESPEARE, W. **The merchant of Venice**, 1600.
- SHARMA, T. K. Hot wallet vs cold wallet. **The Blockchain Council**, 2017.
- SICHEL, R.; CALIXTO, S. Criptomoedas: impactos na economia global. **Revista de Direito da Cidade**, v. 10, n. 3, p. 1622-1641, 2018.
- SILVA, B. A. O. S.; NOGUEIRA, S. G.; RIBEIRO, K. C. S. Aplicação prática do índice de Sharpe na determinação de um portfólio ótimo de ativos. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 14, n. 1, 2015.
- SILVEIRA, R. M. J. Criptocrime: considerações penais econômicas sobre criptomoedas e criptoativos. **Revista de Direito Penal Econômico e Compliance**, v. 1, 2020.
- SIMSER, J. Bitcoin and modern alchemy: in code we trust. **Journal of Financial Crime**, v. 22, n. 2, p. 156-169, 2015.
- STRINGHAM, E. **Private governance**. Oxford: Oxford University Press, 2015.
- STRÜCKER, C. Como surgiram as criptomoedas. **Sutori**, 9 fev. 2020. Disponível em: <<https://www.sutori.com/story/como-surgiram-as-criptomoedas--Yzf4kNdR6BvKAceKQduew2Jw/>>. Acesso em: 9 fev. 2020.
- SYMITSIS, E.; CHALVATZIS, K. J. The economic value of Bitcoin: a portfolio analysis of currencies, gold, oil and stocks. **Research in International Business and Finance**, v. 48, p. 97-110, 2019.
- SOMPOLINSKY, Y., ZOHAR, A. Secure high-rate transaction processing in Bitcoin. In: BOHME, R.; OKAMOTO, T. (Eds.). **LNCS**, v. 8975, p. 507-527, 2015.
- SORENSEN, E. H et al. Multiple alpha sources and active management: Avenues to improve active performance. **Journal of Portfolio Management**, v. 30, n. 2, 2004.
- SHAH, R.; JAMMALAMADAKA, P. R. Optimal portfolio strategy for risk management in toll road forecasts and investments. **Transportation Research Record**, v. 2670, n. 1, p. 83-94, 2017.
- SHARPE, W. F. A simplified model for portfolio analysis. **Management Science**, v. 9, n. 2, p. 277-293, 1963.

SHARPE, W. F. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. **Journal of Finance**, v. 19, p. 425-442, 1964.

SINGH, R.; SAIKIA, H.; BHATTACHARJEE, D. Application of Markowitz model for analyzing the performance of cricket teams in Indian premier league. **Metamorphosis: A Journal of Management Research**, v. 14, p. 14-24, 2015.

STEPANOVA, V.; ERINŠ, I. Review of Decentralized Finance Applications and Their Total Value Locked. **TEM Journal**, v. 10, n. 1, p. 327-333, 2021. Disponível em: <doi:10.18421/TEM101-41>. Acesso em: jun. 2020.

TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. **Blockchain revolution: how the technology behind Bitcoin is changing money, business and the world**. Toronto: Portfolio/Penguin, 2016.

THOMÄ, J. et al. The alignment of global equity and corporate bonds markets with the Paris Agreement: A new accounting framework. **Journal of Applied Accounting Research**, v. 20, p. 439-457, 2019.

TOBIN, J. Liquidity preference as behavior towards risk. **Review of Economic Studies**, v. 25, n. 1, p. 65-86, 1958.

TU, Z.; XUE, C. Effect of bifurcation on the interaction between Bitcoin and Litecoin. **Finance Research Letters**, v. 31, 2018.

TURPIN, J. Bitcoin: the economic case for a global, virtual currency operating in an unexplored legal framework. **Indiana Journal of Global Legal Studies**, v. 21, p. 335-368, 2014.

ULRICH, F. **Bitcoin: a moeda na era digital**, 1. ed. São Paulo: Instituto Ludwig Von Mises Brasil, 2014.

URQUHART, A.; ZHANG, H. Is bitcoin a hedge or safe-haven for currencies? An intraday analysis. **International Review of Financial Analysis**, v. 63, p. 49-57, 2019.

VAN DER MERWE, A. A Taxonomy of Cryptocurrencies and Other Digital Assets. **Review of Business**, New York, v. 41, ed. 1, supl. Special Issue in Fintech, p. 30-43, jan. 2021.

VARDAR, G.; AYDOGAN, B. Return and volatility spillovers between Bitcoin and other asset classes in Turkey: Evidence from VAR-BEKK-GARCH approach. **EuroMed Journal of Business**, 2019.

WILSON, T. C. Portfolio credit risk. **Economic Policy Review**, out. 1998.

WOOD, G. Ethereum: a secure decentralised generalised transaction ledger. **Ethereum Project Yellow Paper**, 2014.

Wu, C.; Pandey, V. The value of Bitcoin in enhancing the efficiency of an investor's portfolio. **Journal of Financial Planning**, v. 27, p. 44-52, 2014.

YAMAI, Y.; YOSHIBA, T. On the validity of value-at-risk: comparative analyses with expected shortfall. **Monetary and Economic Studies**, v. 20, p. 57-85, 2002.

YERMACK, D. Is bitcoin a real currency? **SSRN Electronic Journal**, 2013.

ZANINI, F. A. M.; FIGUEIREDO, A. C. 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**, v. 6, n. 2, p. 37-64, 2005.

ZETZSCHE, D. A.; ARNER, D. W.; BUCKLEY, R. P. Decentralized Finance. **Journal of Financial Regulation**, 2020. Disponível em: <doi:10.1093/jfr/fjaa010>. Acesso em: jul. 2021.

ZHAO, Y. C.; MENG, X. P.; YANG, H. F. Jackknife empirical likelihood inference for the mean absolute deviation. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 91, p. 92-101, nov. 2015. Disponível em: <doi10.1016/j.csda.2015.06.001>. Acesso em: mar. 2021.

ZIĘBA, D.; KOKOSZCZYNSKI, R.; SLEDZIEWSKA, K. Shock transmission in the cryptocurrency market: Is Bitcoin the most influential? **International Review of Financial Analysis**, v. 64, 2019.