

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ADMINISTRATIVAS

STEPHAN OSWALD COLOMBO BRATAWINATA

**APLICAÇÃO DE MÉDIA-VARIÂNCIA EM CRIPTOMOEDAS:
UMA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS DESSES ATIVOS COM A MELHOR
RELAÇÃO DE RISCO E RETORNO**

Porto Alegre

2018

STEPHAN OSWALD COLOMBO BRATAWINATA

**APLICAÇÃO DE MÉDIA-VARIÂNCIA EM CRIPTOMOEDAS:
UMA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS DESSES ATIVOS COM A MELHOR
RELAÇÃO DE RISCO E RETORNO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal do Rio Grande do Sul como parte
das exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Administração
Orientador: Prof. Dr. Tiago Pascoal
Filomena

Porto Alegre
2018

STEPHAN OSWALD COLOMBO BRATAWINATA

**APLICAÇÃO DE MÉDIA-VARIÂNCIA EM CRIPTOMOEDAS:
UMA ANÁLISE DE INVESTIMENTOS DESSES ATIVOS COM A MELHOR
RELAÇÃO DE RISCO E RETORNO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal do Rio Grande do Sul como parte
das exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Administração
Orientador: Prof. Dr. Tiago Pascoal
Filomena

Conceito Final: ____

Aprovado em: ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Brutti Righi – UFRGS

Orientador – Prof. Dr. Tiago Pascoal Filomena – UFRGS

Agradecimentos

Agradeço a minha mãe Sra. Vera Lucia Colombo, que sempre me apoiou, incentivou e acreditou em mim, tornando a realização desta conquista possível.

Sou grato ao Prof. Dr. Tiago Pascoal Filomena, por toda dedicação em seus ensinamentos e excelência em prestar a orientação durante o trabalho de conclusão.

Agradeço também ao aluno de doutorando Marlon Moresco, pois teve um papel importante me transmitindo conhecimento referente à parte teórica inserida nesta monografia.

Por fim, dedico esse trabalho aos meus familiares e amigos que fiz durante a trajetória de vida, seja na escola, no trabalho e em outros âmbitos. Ninguém consegue atingir seus objetivos sem a ajuda daquelas pessoas nas quais apreciamos e podemos confiar.

RESUMO

A presente monografia se propõe a fazer uma análise de portfólios baseando-se na técnica de média-variância criada por Harry Markowitz. Essa pesquisa visa juntar importantes temas relacionados à área de finanças, como a otimização de carteiras de ativos e a utilização de criptomoedas como investimentos de alto retorno e volatilidade. O uso de ferramentas computacionais foi fundamental para se obter os resultados da pesquisa.

Com o desenvolvimento da monografia, será realizada uma prévia explicação de como funciona o mercado financeiro, junto com a base teórica da teoria de média-variância e estruturação das criptomoedas. Na segunda parte do trabalho, será aplicada a teoria de média-variância com os dados históricos dos principais ativos de moedas digitais no mercado, observando qual a melhor combinação de pesos de ativos, a fim de obter a melhor otimização de risco e retorno dos portfólios.

As principais inspirações para essa análise foram o artigo escrito por Anton Badev, nomeado de “Bitcoin: Technical Background and Data Analysis”, 2014, e a obra de Gerard Cornuejols, chamada “Optimization Methods in Finance”, 2006. Para realizar a análise de dados foi utilizada a plataforma Kaggle, disponível em: <https://www.kaggle.com/>.

Palavras-chave: Média-variância, risco, retorno, criptomoedas, Bitcoin, portfólio, desvio-padrão, covariância, blockchain, mercado financeiro.

ABSTRACT

This academic paper intends to make a portfolio analysis based on the medium-variance technique created by Harry Markowitz. The present research aims to bring together important themes related to finance, such as the optimization of asset portfolios and the use of cryptocurrencies as investments of high return and volatility. The use of computational tools was fundamental to obtain the results of such research.

As the research progresses, an explanation of how the financial market works will be made, along with the theoretical basis of the theory of mean-variance and an introduction of the concept and structure of the crypto-currencies. In the second part of the article, the mean-variance theory will be applied to the historical data of the main digital currency assets in the market, observing what is the best combination of asset weights in order to have the best risk optimization and return from the portfolios.

The main inspirations for this research were the article written by Anton Badev named "Bitcoin: Technical Background and Data Analysis", 2014, and the work of Gerard Cornuejols called "Optimization Methods in Finance", 2006. To carry out data analysis the Kaggle platform was used, available at <http://www.kaggle.com/>.

Keywords: Mean-variance, risk, return, cryptocurrency, Bitcoin, portfolio, standard deviation, covariance, blockchain, financial market.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz covariância, retorno e volatilidade dos ativos do portfólio 1.....	36
Tabela 2 - Variância, retorno, distribuição de peso dos ativos e desvio-padrão do portfólio composto pelas criptomoedas Bitcoin, Ethereum e Ripple.....	38
Tabela 3 - Matriz covariância, retorno e volatilidade dos ativos do portfólio 2.....	39
Tabela 4 - Variância, retorno, distribuição de peso dos ativos e desvio-padrão do portfólio composto pelas criptomoedas Bitcoin Cash, Litecoin e Dash.....	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Fronteira eficiente medindo a relação de risco e retorno.....	22
Gráfico 2 – Gráfico referente a fronteira eficiente dos ativos calculados no portfólio 1.....	38
Gráfico 3 – Gráfico referente a fronteira eficiente dos ativos calculados no portfólio 2.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Problema de pesquisa	11
1.2 Justificativa.....	11
1.3 Objetivos geral e específicos.....	12
<i>1.3.1 Objetivo geral.....</i>	<i>12</i>
<i>1.3.2 Objetivos específicos</i>	<i>12</i>
<i>1.4 Limitações.....</i>	<i>7</i>
2 REVISÃO TEÓRICA	13
2.1 Mercado financeiro.....	13
2.2 Risco e retorno	16
2.3 Teoria moderna do portfólio.....	17
<i>2.3.1 Otimização média-variância de Markowitz.....</i>	<i>18</i>
<i>2.3.2 Carteiras otimizadas e arriscadas</i>	<i>21</i>
2.4 As criptomoedas	23
<i>2.4.1 Tecnologia e funcionamento das criptomoedas.....</i>	<i>25</i>
<i>2.4.2 Processo de transações de criptomoedas</i>	<i>27</i>
<i>2.4.3 Descrição da base de dados dos principais ativos de criptomoedas.....</i>	<i>28</i>
3 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE DADOS.....	34
3.1 Análise de portfólio utilizando dados em criptomoedas no Excel	34
3.2 Experimentos utilizando outras criptomoedas.....	39
<i>3.2.1 Carteira composta por Bitcoin Cash, Litecoin e Dash.....</i>	<i>39</i>
4 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Agentes do mercado financeiro buscam obter o maior lucro possível e simultaneamente procuram minimizar suas perdas. Investidores possuem divergências a respeito da aversão ao risco. Alguns têm preferência em adquirir títulos de renda fixa que possuem menor grau de risco, enquanto que outros preferem investir em ativos de renda variável, em que há maior porcentagem de retorno apesar de apresentar maior probabilidade de perda.

Ao invés de aplicar o dinheiro em ativos de baixo risco, investidores optam por montar suas carteiras em ativos reais e financeiros, incluindo até em ativos de criptomoedas. Estas carteiras de ativos permitiram ganhos extraordinários mesmo tendo maior nível de risco, no entanto, como contraparte, é possível ganhar muito ou então perder todo valor inicial investido (ALCANTARA, 1980).

A aplicação da média-variância é uma das técnicas mais aprimoradas para se montar um portfólio eficiente que traga uma boa relação de risco e retorno. Por meio de fundamentos matemáticos, Markowitz desenvolve sua teoria em 1960, sendo ainda utilizada por investidores atuantes no mercado até o presente. Aqui se deve salientar que existem outras técnicas de análise de risco e retorno aplicadas a investimentos de ativos no mercado financeiro, porém optou-se por realizar a pesquisa utilizando a técnica de média-variância de Markowitz (AMETRANO, 2016).

Quando um agente monta sua carteira de investimento, realiza aplicações monetárias em diversos ativos com o intuito de obter retorno financeiro. O foco da presente pesquisa será montar uma carteira de investimento utilizando somente ativos de criptomoedas com a melhor relação de risco e retorno. Assim, apesar do Bitcoin ser um ativo supervalorizado nos últimos anos, há muitas pessoas procurando esse ativo somente para poder investir e acabam deixando passar despercebidas as outras criptomoedas ofertadas no mercado (NARAYANAN et al., 2016).

Dessa forma, mesmo com a alta volatilidade do Bitcoin, que é o principal ativo nesse segmento, o mercado de criptomoedas ainda demonstra potencial de crescimento. Nenhum investidor possui adesão ao risco igual aos outros. Será, portanto, apresentada a técnica mais otimizada para montar uma carteira de investimento em ativos de criptomoedas. Além disso, utilizando a teoria de média variância de Markowitz, será explicado qual seria o melhor portfólio de acordo com o nível de risco e retorno que o investidor esta disposto a aplicar (HEID, 2014).

1.1 Problema de pesquisa

Estudos empíricos mostram que investidores atuantes no mercado financeiro procuram escolher ativos que apresentem maior retorno em suas aplicações e, de preferência, que tenham menor risco de perda. A chegada dos ativos de criptomoedas vem proporcionando altos retornos, além de ser atraente por se tratar de um recurso diferenciado. Porém, muitas pessoas não compreendem como as criptomoedas funcionam, apesar de terem interesse em negociá-las mesmo que de forma especulatória.

A maioria dos agentes atuantes no mercado financeiro busca aperfeiçoar a relação de risco e retorno. Eles procuram diversificar seus ativos para obter o maior valor do retorno esperado com o menor risco possível. Contudo, sua aplicação exige conhecimento técnico em matemática, ou seja, é necessário entender o mercado financeiro e seus ativos para poder aplicar de forma correta.

Incertezas em relação ao risco do mercado é um problema para qualquer investidor. Montar uma carteira ótima de investimentos não é uma tarefa fácil. Muitos investidores não possuem conhecimento e experiência para montar esse tipo de carteira. Assim, apesar dos retornos nos ativos de criptomoedas serem atraentes, lidar com seu risco altamente volátil pode ser considerado um desafio.

1.2 Justificativa

A análise quantitativa de ativos financeiros é uma das formas de identificar a carteira ideal para ser investida. Corretoras e especialistas autônomos oferecem serviços que auxiliam a montar a carteira com maior nível de otimização. Contudo, é necessário que os investidores entendam a técnica utilizada para realizar seus investimentos e que tenham entendido todo o processo de tomada de decisão, para que, assim, possam realizar futuros investimentos com bom rendimento (BODIE et al., 2014).

Ativos de criptomoedas têm uma alta volatilidade de seus preços, ainda que o número de seus investidores venha crescendo nos últimos anos. É necessário que seus stakeholders entendam como funciona seu mecanismo e o que esses ativos podem proporcionar para o futuro, tanto do ponto de vista de curto quanto do de longo prazo.

Muitos investidores procuram realizar suas aplicações em que obtenham o maior valor de retorno esperado com o menor risco. A técnica de média variância criada por Harry Markowitz é recomendada por matemáticos, economistas e especialistas em finanças para buscar a otimização das carteiras de investimentos, envolvendo diversos tipos de ativos.

1.3 Objetivos geral e específicos

1.3.1 Objetivo geral

- Verificar, com base na técnica de média-variância, a melhor relação de risco e retorno no caso da aplicação em criptomoedas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Descrever como funciona a aplicação da técnica de média-variância.
- Descrever o cenário atual dos ativos de criptomoedas.
- Aplicar a técnica de Média-Variância em criptomoedas e verificar a melhor relação de risco e retorno.

1.4 Limitações

Referente à coleta de dados, foi possível entender o esforço no trabalho de filtração de valores durante o período histórico de retorno das criptomoedas. Ao realizar sua computação no software, é necessário aplicar uma série de comandos para que a técnica de média-variância seja aplicada de forma correta, e assim, obtendo o resultado no período estudado.

Na parte de referências bibliográficas, há poucas monografias e artigos publicados feitos por acadêmicos brasileiros referentes ao estudo sobre criptomoedas. Parte de seu conhecimento teve que ser traduzidos do inglês para ter seus estudos adaptados aos leitores brasileiros. Além disso, apesar de existirem outras técnicas de análise de risco e retorno de portfólio, a presente monografia se limitou em utilizar a média-variância para otimizar a aplicação de investimentos nas criptomoedas.

2 REVISÃO TEÓRICA

Nesse tópico, discute-se a parte de revisão bibliográfica em que estão os conjuntos de referências bibliográficas que auxiliaram na construção teórica de uma possível solução do problema de pesquisa. Será feita uma análise de como é o funcionamento do mercado financeiro para, dessa forma, ser possível compreender o mercado em que estão atuando os ativos de criptomoedas e como são feitos seus investimentos.

A análise de conteúdos relacionados a finanças é fundamental para o entendimento da presente pesquisa. É necessário também analisar a teoria de média variância de Markowitz para se compreender os fundamentos matemáticos que compõem a otimização de portfólio. Correlacionando os conteúdos de finanças, matemática e de criptomoedas encontra-se a melhor composição de um portfólio que utiliza os ativos de criptomoedas, além de também conter a melhor relação de risco e retorno (BODIE et al., 2014). Para isso será feita uma revisão de livros e artigos referentes a finanças, criptomoedas e fundamentos matemáticos.

Em seguida, será feita a parte do experimento. Nesse momento, serão coletados dados históricos reais de ativos de criptomoedas e aplicados no software. Assim, será obtida na prática simulada como de fato seria uma carteira otimizada de criptomoedas. Seguindo esses passos, os investidores leitores dessa pesquisa terão uma visão mais ampla de como as criptomoedas estão inseridas no mercado financeiro e qual seria a carteira mais eficiente para fazer suas aplicações.

2.1 Mercado financeiro

O mercado financeiro é o ambiente em que se congregam um determinado conjunto de pessoas jurídicas e de agentes interessados em realizar aplicações, entre compradores e investidores, permitindo a negociação de produtos financeiros, como títulos corporativos, ações, minicontratos, fundos de investimentos, criptomoedas, entre outros. Muitos desses ativos barganhados no mercado financeiro são derivados de ativos reais. O entendimento desses mercados é fundamental para se conseguir montar as carteiras mais eficientes. Para ser viável realizar as combinações entre os ativos negociados é preciso compreender seu histórico e como

funcionam. É significativo recordar que diversos fatores influenciam no preço dos ativos com o decorrer do tempo (BAGRI, 2007).

As criptomoedas são ativos altamente voláteis inseridos dentro do mercado financeiro. Recentemente, vêm aumentando a quantidade de investidores interessados na comercialização desses ativos, e, também, de especuladores que apostam na oscilação de seus preços. Caso não se entenda os rudimentos do mercado financeiro, a aplicação da técnica de média-variância será ineficaz, pois se estará apenas aplicando seus conceitos matemáticos sem a compreensão do ambiente no qual as criptomoedas estão inseridas. Assim, deve haver um entendimento pleno sobre essas duas áreas de conhecimento para que os investidores consigam aplicar a teoria de Markowitz de forma mais eficiente, bem como, futuramente, auxiliar a obter retornos no mercado.

O sistema financeiro exerce uma função essencial na economia, estimulando o crescimento econômico e influenciando o poder de aquisição dos agentes. Como uma parte da transação pode apresentar mais informações úteis do que a outra parte, é possível ocorrer um caso de assimetria da informação (DARŠKUVIENĖ, 2010).

A atuação econômica da maior parte das nações do planeta está correlacionada ao setor privado e aos investimentos. O ambiente favorável a realizar trocas de valores é o mercado financeiro. Seu conceito por definição é o ambiente de negociação de valores mobiliários, como ações, títulos e opções, câmbios e commodities. Nessas operações de aquisição e venda, estão envolvidas inúmeras instituições com a função de descomplexificar o encontro entre agentes do mercado e de regular as transações (FRIEDMAN, 2015).

O ato de realizar investimentos implica em um compromisso no qual o investidor aplica um determinado valor monetário com a promessa de adquirir retorno acima do valor inicial no futuro. A riqueza e o PIB (Produto Interno Bruto) de uma nação são determinados pelo nível da capacidade produtiva de sua economia. Este nível de produção está relacionado ao trabalho produzido por seus ativos reais, como terra, maquinaria industrial, construção e conhecimento utilizado para a formação de riquezas (GRIFFIN, 1998).

Além dos ativos reais presentes na economia, existem os ativos financeiros que também contribuem para a capacidade produtiva. Por meio desses ativos os indivíduos possuem meios de aquisição de negociar títulos e ações dentro do mercado financeiro para poderem manter suas reivindicações sobre ativos reais. Ativos financeiros são créditos sobre a renda gerada por ativos

reais. Caso não se tenha capacidade financeira de realizar empreendimentos em ativos reais, como construir um edifício ou montar uma fábrica de automóveis, é possível negociar seus derivativos no mercado financeiro (BAGRI, 2007).

Os mercados financeiros apresentam diversas falhas que tornam os resultados divergentes com as expectativas. Condições desfavoráveis no mundo atual das finanças, eventuais erros nas etapas de escolhas dos investidores, falhas do sistema ou crises nacionais e internacionais podem tornar os investimentos mais incertos e arriscados (ALCANTARA, 1980).

O Mercado de Capitais compreende o complexo de instituições e mecanismos por meio dos quais fundos de períodos reduzidos e longos são reunidos e disponibilizados para negócios. Além disso, engloba o procedimento no qual os títulos em circulação são transferidos. O mercado primário, por sua vez, fornece o canal para a venda de novos títulos. O emissor de títulos vende suas emissões de titularidade no mercado primário para arrecadar fundos para investimento e/ou para alguma obrigação. O mercado secundário lida com títulos emitidos anteriormente. Os sinais de preço, que incluem todas as informações sobre o emissor e seus negócios, incluindo risco associado, gerado no mercado secundário, ajuda o mercado primário na alocação de fundos (BODIE et al., 2014).

De acordo com a abordagem, os mercados financeiros viabilizam o fluxo para financiar investimentos de empresas, governos e indivíduos. Instituições financeiras são os imprescindíveis intervenientes nos mercados financeiros, uma vez que exercem a atividade de intermediação e, assim, determinam o fluxo de recursos. Os reguladores financeiros realizam a função de monitorar e regular os participantes do sistema financeiro. Os ativos são divididos em duas categorias: ativos tangíveis como propriedades e ativos intangíveis. Um ativo intangível simboliza uma reivindicação legal para alguns futuros benefícios econômicos. Assim, o valor do ativo intangível não tem relação com a forma física ou com outra forma em que as reivindicações são registradas (DARŠKUVIENĖ, 2010).

Percebe-se, portanto, que a influência de um mercado financeiro estruturado é primordial para o desempenho de uma boa economia. Recentemente, os acordos negociados de criptomoedas também estão inseridas nesse mercado. São realizadas carteiras de investimentos, semelhantes ao mercado de ações, a fim de se cumprir as transações dos ativos de criptomoedas. Elas também podem ser transacionadas de forma especulativa, semelhante ao mercado de

câmbio, ou qualquer outro. A análise técnica precisa desses ativos define como será a melhor forma de realizar seus investimentos (NARAYANAN et al., 2016).

2.2 Risco e retorno

Quando se realiza algum investimento com capital próprio a principal intenção é que se tenha um retorno financeiro ainda maior do que o valor inicial efetuado. Existem teorias que demonstram a ligação entre perda e retorno espectável que prevalecessem nos mercados de capital racional, mas não há teoria sobre os níveis de risco que são prováveis de se obter no mercado. Essa situação é possível prever porque os preços dos ativos de investimento flutuam em resposta às notícias sobre as fortunas das corporações, bem como à evolução macroeconômica (FRIEDMAN, 2015).

Fazer previsões sobre os retornos esperados e riscos de ativos está correlacionado a entender o histórico desses investimentos. Logo, pode-se considerar que o vínculo entre perda e retorno está diretamente correlacionada. Todos os ativos inseridos no mercado financeiro e qualquer outra forma de investimento apresentam essa relação. Na prática, quanto mais alto for o risco que o ativo possuir, maior será o seu retorno esperado (DARŠKUVIENĖ, 2010).

O conceito de retorno esperado é estabelecido como o ganho, ou detrimento, sobre o investimento realizado. Retorno é simplesmente a variação no capital em relação ao investimento inicial. Assim, podem-se comparar rendimentos de investimentos com magnitudes completamente diferentes. Os dois principais componentes do retorno são os dividendos e ganhos, ou extravios, de capital. Caso ocorra uma redução de capital, ocorre o ganho negativo de capital (ALCANTARA, 1980).

O risco é a possibilidade de perdas e/ou variabilidade sobre o retorno esperado. É possível definir o risco como uma incerteza associada a um ativo ou uma carteira de ativos. Pode-se observar o risco também como a variabilidade, ou volatilidade, em relação a um determinado retorno esperado. Essa variável não é algo observável e fácil de encontrar. É necessário mensurar indiretamente. A abordagem mais simples é por meio do desvio-padrão. O desvio-padrão é estimado pela raiz quadrada da variância e representa a dispersão média de uma variável (BODIE et al., 2014).

Outro conceito importante de ser analisado é o risco sistemático. Essa variável se refere à parcela de risco do mercado em ambiente macro, o qual não pode ser diversificado. Um exemplo seria o acréscimo do preço do combustível, que causará consequências impactantes a uma grande quantidade de ativos. Quando o risco sistemático ocorre está diretamente interligado às flutuações de mercado em geral e como irá impactar as demais variáveis presentes (BARROS, 2013).

Há diversas pessoas que possuem uma abordagem mais simples para lidar com riscos. Contudo, na visão de um agente financeiro, isso pode não ser uma boa estratégia. Como risco e retorno são correlacionados, cada risco que se evita possivelmente também priva o investidor de uma oportunidade favorável de construir sua riqueza (BAGRI, 2007).

A teoria de otimização de carteiras de investimentos é o pilar quantitativo para análise de investimentos, com a finalidade de alcançar os resultados maximizados dos retornos de investimentos. Investidores utilizam essa teoria para buscar os resultados mais lucrativos. A análise é realizada em base na sequência histórica dos determinados ativos utilizados. No caso da presente pesquisa, foram utilizados os dados dos ativos de criptomoedas nos últimos anos. Muitos fundos hedge e investimentos bancários utilizam a otimização de portfólio. O objetivo primordial dessa aplicação é encontrar a combinação de ativos que proporcionará o melhor retorno com o menor risco (HILL, 2010).

2.3 Teoria moderna do portfólio

Segundo Markowitz, a forma mais preferível de se montar um portfólio pode ser separado em duas partes. O primeiro estágio começa com a consideração dos ganhos ou perdas históricas dos ativos selecionados que irão compor um portfólio e a observação de suas performances. A segunda parte se inicia com a hipótese de como será o desempenho desses portfólios no futuro, se irão atender as expectativas de risco e retorno esperado. Aqui se considera que os investidores buscam otimizar o montante de seu retorno, procurando obter o maior lucro possível. Além disso, supõe-se que eles queiram evitar a perda, minimizando o valor do risco (MARKOWITZ, 1952).

A técnica de média-variância proporciona a combinação mais eficiente de ativos no qual o resultado revelará o maior retorno esperado com o menor risco. Apesar de essa técnica conseguir construir a melhor relação possível de risco e retorno, não oferece adaptabilidade de ser aplicada

em todos os casos. Dependendo do ambiente, o resultado esperado pode ser diferente ao valor previsto, considerando os riscos imprevisíveis no mercado (AMETRANO, 2016).

Ademais, a média-variância é a técnica mais antiga referente à pesquisa de otimização de portfólios. A teoria desenvolvida por Markowitz é considerada uma das mais eficientes porque comprova matematicamente como é a melhor combinação de ativos em que se maximize o retorno esperado com o menor valor possível de risco, representado pela variância e desvio padrão. Seu entendimento é primordial para ser possível construir uma carteira otimizada utilizando ativos de criptomoedas.

2.3.1 Otimização média-variância de Markowitz

Define-se que as carteiras de investimentos são um grupo de ativos pertencentes a um investidor ou a um determinado conjunto de investidores, podendo ser pessoa física ou jurídica. Já a composição de um portfólio pode ser feita com ativos de ações, fundos, títulos públicos e corporativos, aplicações imobiliárias e até criptomoedas (HILL, 2010).

A teoria do portfólio esclarece como os investidores racionais irão utilizar o fundamento da distribuição diversificada de ativos para otimizar suas carteiras através de um portfólio com surgimento no âmbito econômico-financeira. Harry Markowitz foi o originário no desenvolvimento na teoria do portfólio com a composição do modelo de média-variância. Essa teoria estabelece que as escolhas estão interligadas à seleção de ativos que devem ser tomadas com a relação de risco e retorno (MARKOWITZ, 1952).

Além disso, a teoria de Markowitz da otimização da média-variância é uma das mais apropriadas para montar uma ótima carteira de investimentos para diversas formas de ativos. O mecanismo de Markowitz fornece uma preferência de portfólios de forma que agregue os retornos esperados e a probabilidade de risco à carteira.

Os investidores racionais irão viver em um eterno dilema durante suas trajetórias. Como irão otimizar seu retorno esperado, considerando o determinado risco que está propenso a ocorrer? Ou será melhor minimizar o seu nível de risco considerando um determinado retorno que espera atingir? Em certa medida, essa trade-off será distinta para cada agente com base nas particularidades individuais da aversão ao risco dependendo conforme as características do investidor (CORNUEJOLS; TÛTÛNCÛ, 2006).

Com a chegada da teoria de Harry Markowitz os investidores começaram a observar os ativos de investimento como um todo e não apenas selecionar os considerados melhores individualmente. Iniciou-se, assim, a distribuição de ativos. Como eles se correlacionam em conjunto, todos os envolvidos na carteira trazem resultados agregados (CORNUEJOLS; TÛTÛNCÛ, 2006).

Um portfólio é considerado eficiente se tiver maximizado seu retorno esperado entre a maioria das carteiras com mesma a variância. O critério de eficiência de retorno pode ser concebido como uma curva em um gráfico bidimensional, no qual as coordenadas de um ponto plotado correspondem ao desvio-padrão e ao esperado retorno da carteira eficiente. Quando se assume que o retorno é positivo definido, a variância é estritamente função convexa das variáveis do portfólio e existe uma carteira única que tem a variação mínima. A primeira restrição indica que o retorno expectado não apresenta o valor menor que o valor alvo R . Resolvendo este problema para valores de R , variando entre R_{min} . e R_{max} , obtém-se caso maior parte dos portfólios forem eficientes (CORNUEJOLS; TÛTÛNCÛ, 2006).

A técnica elaborada por Markowitz tem vários pressupostos fundamentais para sua aplicação. Ou seja, a volatilidade que um portfólio apresenta é baseado na variabilidade de seus respectivos retornos esperados. A curva de utilidade de um investidor tem o formato côncavo e crescente, devido à sua aversão ao risco e à preferência de consumo. A análise técnica é realizada baseada no modelo de período único de investimento. A natureza de todo investidor é racional, pois ele deseja maximizar seu retorno da carteira dado certo grau de perda. (MARKOWITZ, 1952).

Antes da aparição da teoria de Harry Markowitz era impensável olhar para a classe de ativos como um todo, sendo o natural especular nos ativos com o maior retorno e menor grau de risco. Contudo, Markowitz conseguiu formalizar, através de uma matemática de diversificação de ativos, que matematicamente os ativos variam de modo diferente e reagem a diversos tipos de comportamento. É permitido utilizar esses movimentos diferentes para reduzir o grau de risco. Assim sendo, os investidores deveriam iniciar a escolha de portfólios e não apenas ativos de investimento de forma individual (BARROS, 2013).

Futuramente, surgiu o economista William Sharpe, aluno de Markowitz, que junto com John Lintner e Jack Traynor desenvolveram o modelo que ficou conhecido por Modelo de conjectura de ativos ofertados no mercado financeiro, ou também chamado de “Capital Asset

Pricing Model” (CAPM), no qual o coeficiente Beta apresenta a taxa de retorno esperada de uma ação. Essa taxa é definida por meio da covariância de seu preço com o nível global de mercado. O pressuposto principal é a diversificação do risco não sistemático (BODIE et al., 2014).

No ano de 1964, William Sharpe aprimorou o modelo projetando um ambiente em que a maioria dos agentes do mercado financeiro aplicasse a técnica da escolha de portfólios de Markowitz com base no critério de escolhas utilizando a avaliação da média-variância dos ativos selecionados. Sharpe levanta a hipótese de que os agentes possuem o equivalente grau de retorno esperado, variância e covariâncias. Entretanto, ele não relata que os agentes possuem o idêntico nível de preferência de risco. Dessa forma, eles podem diminuir o nível de evidenciação ao risco escolhendo mais ativos de menor risco, ou montando suas carteiras combinando vários ativos de risco (CORNUJOLS; TÛTÛNCÛ, 2006).

O CAPM de Sharpe demonstra o vínculo entre a volatilidade de mercado e as taxas percentuais de retorno determinadas. Assim como Markowitz, a teoria de Sharpe também apresenta alguns pressupostos. É provável que aconteça a probabilidade de se realizar o investimento em ativos sem nenhum risco. Os investidores buscam o nível máximo de utilidade esperada e preferem decidir suas escolhas de investimento entre as carteiras alternativas com base no seu retorno esperado e pertencente desvio padrão. A alta quantidade de agentes mostra expectativas homogêneas, dependendo do valor de seu retorno esperado, quanto à variância e à covariância de retorno dos ativos (ALCANTARA, 1980).

Principais conceitos (BODIE et al., 2014):

– Retorno esperado: média dos vários resultados ponderados pela probabilidade imputada a seleção desses valores. $E(R) = \bar{R} = \sum_{i=1}^n P_i * R_i$

Sendo:

$E(R) = \bar{R}$ = retorno esperado;

P_i = probabilidade de ocorrência de R_i ;

R_i = valor do retorno i ;

n = número de ocorrências (valores de retornos) consideradas.

i = ativo utilizado para cálculo na equação.

– Variância: sequência de soma das distâncias de cada análise de risco e a média desse agrupamento elevado ao quadrado. $\sigma^2 = \sum(R_i - \bar{R})^2/n - 1$

– Desvio-padrão: grau de desvio da média de retorno. Representa a probabilidade de risco dos ativos. $\sigma = \sqrt{\sum(R_i - \bar{R})^2/n - 1}$

– Covariância: forma de medir o nível de interdependência numérica entre mais de uma variável aleatória. Pode ser considerado como um medida de dependência linear referente a duas ou mais variáveis aleatórias.

$$\text{Cov}(\sigma_i, \sigma_j) = (1/n \sum_{i=1}^n (R_i - u_i)(R_j - u_j))$$

– Índice de Sharpe: indicador que avalia a relação entre retorno excessivo ao ativo de baixo risco e a volatilidade. Sua fórmula consiste na diferença entre o retorno do portfólio com o retorno do ativo livre risco, dividido pelo desvio-padrão do portfólio. Segue a fórmula abaixo:

$$IS = (R_m - R_f) / \sigma$$

R_m = risco de mercado

R_f = ativo livre de risco (Ex: SELIC)

2.3.2 Carteiras otimizadas e arriscadas

Vale lembrar que aqui se considera que um determinado agente irá partir do pressuposto de buscar o maior retorno esperado e com o menor valor de variância possível. Se forem ignoradas as imperfeições do mercado, a regra precedente nunca implicará que há uma diversificada carteira que é preferível a todas as carteiras não diversificadas. Diversificação é observada como um padrão de idiosincrasia que não implica a magnitude da variabilidade de ativos, na qual deve ser rejeitada. Ademais, a diversificação não pode eliminar todas as variações. Assim, existe uma taxa na qual o agente pode obter o retorno esperado assumindo a variância ou reduzir a variação de acordo com o retorno esperado (MARKOWITZ, 1952).

Suponha que se tenha duas criptomoedas hipotéticas, uma nomeada de XZ e a outra de AY, sendo que ambas possuem um excelente histórico de performance. Assim, a volatilidade de

risco de XZ é no valor de 10%. Já quanto a AY, seu retorno é de 10% e seu desvio-padrão de 5%, ou seja, apresenta uma volatilidade menor que XZ. Quando a combinação desses ativos é realizada na hora de decidir os ativos de investimento, os recomendados são os que estão próximos ou tangenciando à fronteira eficiente. Caso os ativos XZ e AY estejam próximos à fronteira eficiente, conforme a teoria de Markowitz, é recomendado investir na combinação de ambos na mesma carteira.

Define-se a fronteira eficiente como a região do gráfico que evidencia a curva que demonstra os investimentos com os valores otimizados ao máximo possível. Estimando uma combinação de ativos, é permitido mesclá-los surgindo variáveis e possíveis combinações de diferentes carteiras. A volatilidade de um portfólio é adquirida pela multiplicação da matriz de pesos pela de covariâncias (CORNUEJOLS; TÛTÛNCÛ, 2006).

Segue abaixo o gráfico representando a fronteira eficiente:

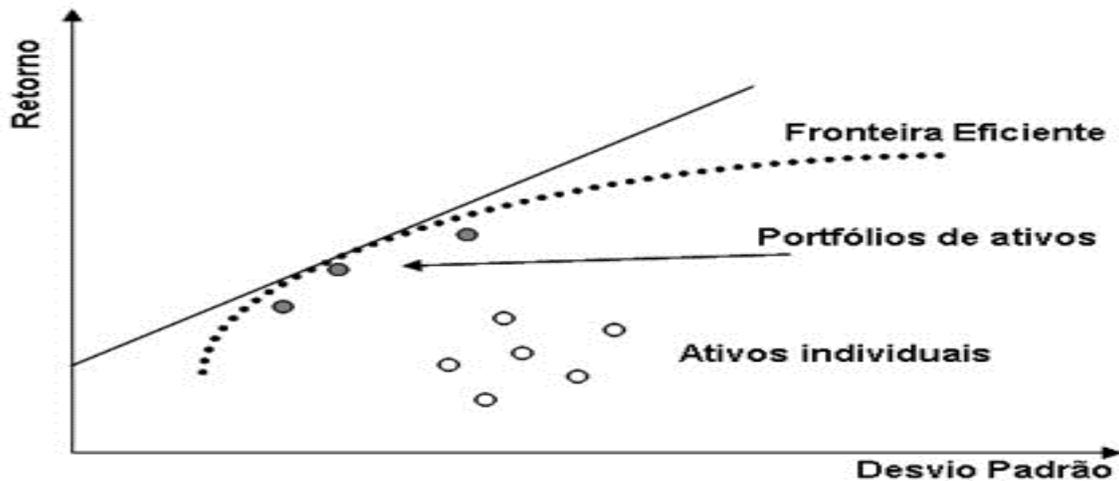


Gráfico 1 – Fronteira eficiente medindo a relação de risco e retorno.

Naturalmente, as carteiras posicionadas no lado inferior da linha da fronteira eficiente devem ser descartadas e apenas as carteiras acima da linha pontilhada devem ser consideradas como opção de investimento. Este efeito ocorre, pois, para cada portfólio da parte interna, existirá um portfólio na fronteira que apresentará a volatilidade menor e o retorno esperado com valor maior. Os portfólios próximos da região da fronteira eficiente são reconhecidos como carteiras

otimizadas. Caso fosse incluído o retorno livre de risco, o usuário poderia conduzir o processo de otimização permitindo a inclusão de um ativo livre de risco nas carteiras (BODIE et al., 2014).

2.4 As criptomoedas

A procura por ativos de criptomoedas vem aumentando nos últimos anos. Ao fazer qualquer transação financeira em criptomoedas, os investidores realizam as suas aplicações sabendo que seu dinheiro não terá o valor descontado pelo governo ou bancos. Porém, quem investe está suscetível a ataques de hackers mal intencionados que considerem que o seu sistema de segurança é inferior a de um banco. Mesmo assim, 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 (AMETRANO, 2016).

O funcionamento das criptomoedas é feito por meio de um sistema tecnológico altamente sofisticado. Isso se pode explicar com um exemplo básico: imagine um caso em que 4 exércitos, durante a Era Medieval, estivessem cercando uma cidade e o ataque só terá sucesso se os 4 generais atacassem ao mesmo tempo. Supondo que não houvesse celular ou internet, como os quatro exércitos fariam para fazer o ataque simultâneo? Poderiam enviar emissários, contudo haveria probabilidade das mensagens serem interceptadas pelo inimigo, ou ainda um emissário poderia se perder no caminho ou poderia haver a hipótese de se ter um traidor em um dos exércitos (NARAYANAN et al., 2016).

Agora imagine que os exércitos são computadores conectados simultaneamente e a chave do enigma está em uma resolução matemática. O Bitcoin, como outros ativos de criptomoedas, estão distribuídos em um consenso comum de forma completa entre todos os usuários. Essa rede de funcionamento está distribuída praticamente por todo o globo. Isso significa que um usuário presente, em qualquer lugar dos cinco continentes, pode entrar em sintonia com outra parte em tempo imediato, podendo fazer transações com seus ativos adquiridos (NARAYANAN et al., 2016).

O criador do sistema criptográfico, e considerado também como um dos fundadores do Bitcoin, é o japonês Satoshi Nakamoto. Ele desenvolveu a criptografia do Bitcoin através de uma programação altamente sofisticada (NARAYANAN et al., 2016). O Bitcoin foi a original

criptomoeda que surgiu com um sistema de segurança confiável. Contudo, sua confiabilidade no sistema de segurança é uma questão levantada em debates.

O gerenciamento centralizado sempre foi predominante nas formas de pagamento de variados tipos de produtos, tanto 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, removendo efetivamente o perigo de haver fraude (HEID, 2014).

A proeminência e popularidade da tecnologia de criptomoedas se espalharam de forma rápida através do público, em geral como meios de estocar e transferir riqueza, bem como se envolver em negócios de e-commerce seguro. Como acontece com qualquer nova tecnologia que gera rápido interesse global, criptomoedas foram alvos de agentes maliciosos no mercado que procuram a exploração da natureza experimental do protocolo. Esses ataques vieram na forma de dados violações, ataques dirigidos contra usuários finais (BADEV; CHEN, 2014).

As criptomoedas são arquivos físicos pré-computados utilizando uma chave pública e pares de chaves privadas gerados em torno de um algoritmo de criptografia específico. A chave atribui a propriedade de cada par de chaves, ou "moeda", para o indivíduo que detém a chave privada. Estes pares de chaves são guardados em um arquivo chamado "wallet.dat", que reside em um diretório oculto padrão no disco rígido do proprietário. As chaves privadas são enviadas aos usuários usando carteira dinâmica, endereços gerados pelos usuários envolvidos em transações. O pagamento de destino ao endereço é a codificação pública do par de chaves de criptomoeda. Existe uma quantidade limitada de cada criptomoeda disponível na rede, e o valor de cada unidade está interligado à base na oferta e demanda, bem como aos níveis de dificuldade flutuantes necessários para minerar cada moeda (HEID, 2014).

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).

O blockchain apresenta o funcionamento estruturado em uma sequência de blocos como se estivessem em uma corrente conectada, sendo que cada bloco gerado possui um conteúdo no qual armazena sua própria impressão digital. Em relação ao Bitcoin, esse conteúdo é uma

transação financeira, independente do valor ser alto ou baixo. 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 exclusiva impressão digital (BADEV; CHEN, 2014).

Um conceito essencial para a entendimento do blockchain é o “hash”. Pode-se considerar o hash como uma função matemática que seleciona uma mensagem e cria uma codificação utilizando letras e algarismos que representam dados que a pessoa remetente inseriu. Essencialmente, o hash seleciona uma determinada quantidade de dados e acaba compactando em uma quantidade menor de informações. No sistema de blockchain, o hash irá registrar a criptografia nos blocos encadeados caso quaisquer informações sejam modificadas pelos usuários. Quando se adquire um novo bloco encadeado que tenha o hash do bloco anterior, acaba por se criar uma espécie de selo codificado que é possível analisar e alertar se algum bloco foi alterado (NARAYANAN et al., 2016).

O Bitcoin opera como um protocolo de participação de arquivos P2P (par-a-par) e, portanto, o conceito é semelhante à tecnologia torrent. A rede P2P depende da participação do usuário para ter sucesso confiável na troca de dados. Cada transação é confirmada por meio da verificação de chave em vários nós na rede antes de ser recebida pelo usuário destinatário. O processo garante a integridade da troca de informações. O blockchain é um mecanismo seguro de aquisição da prova de trabalho que utiliza a capacidade de processamento para criar resoluções das funções matemáticas complicadas na intenção de assegurar que o hash criptográfico inserido no blockchain seja validado. 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. A criptografia mais popular no momento da escrita é o Bitcoin, com alternativas como Litecoin rapidamente ganhando atração nesse tipo de mercado. (HEID, 2014).

2.4.1 Tecnologia e funcionamento das criptomoedas

O Bitcoin é de fato uma criptografia digital par-a-par, distribuída entre usuários, que pode ser transferido instantaneamente e de forma segura entre duas partes, utilizando a Internet, infraestrutura e segurança criptográfica sem a obrigatoriedade de um terceiro confiável, como um banco comercial ou qualquer outra instituição financeira. Assim, é válido ressaltar que o dinheiro é um recurso fundamental para o funcionamento da economia de escambo, dando origem a uma economia comercial. A utilização de aparelhos tecnológicos e softwares altamente sofisticados vêm trazendo inovações e aprimoramentos nas etapas de transações financeiras entre os usuários. Recentemente, inúmeros indivíduos se habituaram a carregar seus telefones celulares constantemente, sendo que o potencial de funções vem aumentando nos aparelhos portáteis. Dessa forma, a expectativa de empregar as recentes tecnologias para realizar transações financeiras vem aumentando com o decorrer do tempo (AMETRANO, 2016).

O Bitcoin é uma das moedas desvinculadas ao sistema monetário bancário mais utilizada e foi o pioneiro em confiar na descentralização de redes par-a-par para evitar gastos duplicados, ao mesmo tempo aproveitando as lições aprendidas pelos experimentos anteriores. Proposto por Nakamoto em 2008, e lançado como software livre de código aberto no ano seguinte, foi anunciado pelo seu autor com uma explicação oficial que o problema principal com a moeda fiduciária convencional é a confiança intrínseca que é necessária para fazer funcionar. A moeda digital possui a chave de codificação pública do seu usuário. Para poder transacionar, o usuário assina o registro da moeda junto com a chave pública do próximo dono. A solução utilizada no Bitcoin é aplicar uma rede par-a-par para verificar gastos duplicados (BADEV; CHEN, 2014).

O protocolo define como manter em público suas transações, permitindo uma maneira segura de transferir uma propriedade exclusiva de propriedade digital de um usuário para outro. Assim, os outros usuários tomam conhecimento que a transação aconteceu e outros sujeitos não podem desafiar a sua legitimidade. Essa razão é chamada de cadeia de blocos, visto que é uma cadeia sequencial de blocos, com cada um deles agregando múltiplas transações. Ela mantém uma espécie de assinatura para transação, remontando ao primeiro bloco de gênese. É possível que os dados possam ser removidos para reduzir o requisito de armazenamento e apenas um pequeno número de nós no Bitcoin rede realmente precise manter uma cópia completa da cadeia. O protocolo é uma grande disruptiva invenção e tem a capacidade de substituir qualquer autoridade central de processamento por equivalente criptograficamente par-a-par descentralizado, melhorando a eficiência (AMETRANO, 2016).

O endereço do portfólio de Bitcoins é a chave pública de um par de chaves criptográficas privadas e públicas. Criptografia assimétrica privada e pública é um algoritmo no qual duas chaves separadas ligadas executam funções complementares, criptografadas em uma espécie de equação matemática em que após sua resolução será feita a transação. A chave privada é capaz de produzir uma assinatura digital como forma de registro. No caso de uma transação Bitcoin, ela é usada pelo remetente para assinar os detalhes da transação, que naturalmente incluem o valor intrínseco da moeda e o endereço da carteira do destinatário, ou seja, a chave pública do destinatário. A chave pública do remetente pode ser usada por qualquer pessoa para verificar essa assinatura, garantindo que a transação não tenha sido alterada e originada de alguém com acesso à chave privada do remetente. A chave pública do usuário remetente, sendo também seu endereço da carteira, mostra se a transação quantidade está realmente disponível para ser gasta pelo remetente. Não há razão de registrar chaves em qualquer lugar com antecedência, como eles só são usados quando necessário para uma transação (NARAYANAN et al., 2016).

2.4.2 Processo de transações de criptomoedas

A próxima etapa será a descrição do processo de transação das criptomoedas, porque algoritmos criptográficos têm implicações à segurança e à privacidade da implementação do Bitcoin. Então, descreve-se um registro de transação no público, porque o livro público é a distinta fonte de informação para a atividade no sistema Bitcoin, sua estrutura atualmente determina o escopo da análise empírica. Assim, é denotado o processo de execução de um pagamento entre duas partes usando a rede de criptomoedas.

O processo de transação de criptomoedas usa criptografia para verificar transações, processar pagamento se controlar o fornecimento de criptomoedas. O Bitcoin depende de dois esquemas criptográficos: assinaturas digitais e hash criptográfico funções. Resumidamente, o primeiro permite a troca de instruções precisas (pagamento) entre as partes de uma transação, e esta última é usada para reforçar a disciplina por escrito dos registros de transação no razão público (BADEV; CHEN, 2014).

As assinaturas digitais são uma maneira de autenticar uma mensagem entre um remetente e um destinatário de uma maneira que garanta:

- a) autenticação: o destinatário pode verificar se a mensagem veio do remetente;
- b) não repúdio: o remetente não pode negar o envio da mensagem;
- c) integridade: a mensagem não foi adulterada.

A implementação de assinaturas digitais envolve criptografia de chave pública, em que um par de chaves - públicas e privadas - é gerado com certas propriedades desejáveis. A Figura 1 ilustra o processo de assinar digitalmente uma mensagem ou uma unidade de dados. A função "assinar" combina a mensagem com a chave privada do usuário remetente para produzir a assinatura. O processo de aquisição está assinando a mensagem com a identidade do remetente, sua chave privada. Antes de aceitar a mensagem, o destinatário verifica a autenticidade do remetente, comparando a mensagem à chave pública do remetente. Isso é feito pela função "verify", que recebe como entrada a mensagem assinada junto com a chave pública e produz um estado de saída binário: aceitar ou rejeitar (HEID, 2014).

Em geral, uma função hash criptográfica que recebe como entrada uma cadeia de comprimento arbitrário torna uma string com comprimento determinado. Aqui é referida como mensagem m a entrada e a saída como hash h . A função é determinística, significando que a mesma entrada m será sempre da mesma saída h . No entanto, saber o hash da mensagem revela pouco sobre a mensagem. Outra propriedade desejável da função hash é que mesmo pequenas mudanças na mensagem m são suscetíveis a alterar hash $h = \text{hash}(m)$ de forma significativa. Isso torna muito improvável alguém inferir o conteúdo da mensagem do hash. Em suma, a saída de funções hash é muito imprevisível (parece aleatória), embora seja determinística. O Bitcoin, por sua vez, usa principalmente o SHA-256, um tipo de Algoritmo de Hash Seguro (SHA-2) projetado pela Agência de Segurança Nacional e publicado pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (BADEV; CHEN, 2014).

2.4.3 Descrição da base de dados dos principais ativos de criptomoedas

Com a finalidade de alcançar a otimização de portfólio, foram selecionados os principais ativos de criptomoedas presentes no mercado. É fundamental que se tenha a compreensão do funcionamento, do desempenho histórico e também da estrutura tecnológica que compõe os

ativos. As informações referentes às criptomoedas no mercado foram retiradas de outros artigos com foco em análise de suas estruturas. Segue abaixo a descrição dos ativos.

Principais ativos de criptomoedas (CHUEN et al., 2014; KAGGLE, 2018):

– **Bitcoin (BTC)**

O Bitcoin foi a primeira criptomoeda a estrear no mercado. Criado no ano de 2009, a identidade de seu criador, ou criadores, ainda está no anonimato. Em janeiro de 2017 uma unidade de Bitcoin valia U\$985, já em dezembro a criptomoeda aumentou seu valor atingindo o preço de U\$17.549 por unidade. A partir de novembro de 2017, o limite máximo de unidades de Bitcoin em circulação no mercado era de 21 milhões. Esse ativo é considerado como a criptomoeda mais conhecida pelo público e capitalizada em todo mercado.

– **Ethereum (ETH)**

Ethereum é uma plataforma constituída em blockchain de codificação aberta que executa os contratos inteligentes de criptomoedas. Esse ativo foi inventado por VitalikButerin em 2013 e mais tarde desenvolvido usando um fundo no valor de US\$18 milhões em Bitcoins, levantados por meio de vendas massivas para um público on-line no ano de 2014.

– **Ripple (XRP)**

O Ripple foi criado por Chris Larsen e Jed McCaleb. É uma das primeiras criptomoedas que não são desenvolvidas com base no protocolo Bitcoins. É uma fonte aberta, distribuída par-a-par rede (par-a-par) de pagamentos, mas centralizada pela empresa. Quaisquer moedas, incluindo a moeda digital de ondulação, podem ser transacionadas na plataforma de pagamento. Em 2018, a quantidade de Ripple em circulação é aproximadamente de 100 bilhões de moedas.

– **Bitcoin Cash (BCASH)**

O Bitcoin Cash é considerado atualmente uma das moedas recentes mais fortes no mercado, originada em agosto de 2017 como uma espécie de “hard fork” (divisão) do Bitcoin. Sendo assim, este ativo é praticamente uma nova versão do Bitcoin. O motivo do surgimento do

Bitcoin Cash foi porque alguns agentes ficaram incomodados com as taxas elevadas e com a demora no tempo de processamento da moeda original. Considerando que o Bitcoin Cash contém limite no tamanho de bloco, seus programadores revelam que a criptomoeda apresenta limite maior em lidar com quantidade de transferências de taxas mais baixas e registros de transações mais rápidas.

– **Litecoin (LTC)**

O Litecoin foi estreado em outubro de 2011 por Charles Lee, usando uma tecnologia similar a do Bitcoin. Comparando as duas, as principais diferenças são que o tempo de geração do bloco diminui em média de 10 minutos para 2,5 minutos por bloco. O limite máximo de Litecoin em circulação é de 84 milhões, que é quatro vezes maior que o Bitcoin, e a adoção de hashing apresenta um algoritmo diferente.

– **EOS (EOS)**

O EOS tem como principal característica seu software programado que apresenta uma estrutura de blockchain projetados que contém a escala vertical e horizontal de programas descentralizados. Isso é realizado através de uma construção do sistema operacional nas quais as aplicações são originadas. O programa oferece contas, autenticação, bancos de dados, comunicação assíncrona e a seleção de aplicativos em variados ramos tecnológicos. Ele teve origem em 2017 e seu preço é altamente volátil no mercado.

– **Cardano (ADA)**

O Cardano é o projeto de código aberto da terceira geração de criptomoedas. É uma plataforma que atua em conjunto com outras criptomoedas. Sua criação deriva de uma tecnologia maleável que permite a transação de protocolos e tecnologias, como funções algorítmias criptográficas, que podem ser substituídas por outras mais seguras e resistentes à computação quântica.

– **Lumens (XLM)**

Os Lumens utilizam a rede de blockchain para interligar vias públicas e privadas em um conjunto. Essas moedas permitem a transferência de forma mais simples para suas transações. A finalidade dessa criptomoeda é que se possa ter maior segurança desse ativo, permitindo gerenciar variados pares de moeda e de criptomoedas em um lugar só.

– **NEO (Antshares)**

Inventada em 2014, é uma criptomoeda chinesa similar ao modelo de protocolo do Ethereum. Portanto, a NEO é uma moeda digital com uma tecnologia peculiar em sua plataforma, sendo conhecida também por “Ethereum chinês”. A rede NEO traz um sistema de contratos inteligentes. Além disso, também apresenta posicionamento e parcerias no mercado capazes de estimular o progresso de sua plataforma e também da moeda digital.

– **IOTA**

IOTA apresenta um sistema M2M (MachinetMachine) e abrange vários tipos de dispositivos. Eles escalam entre si, trazendo uma maior velocidade em sua rede. As transações são realizadas de forma autônoma e não precisam de intermediação orgânica para serem realizadas. Porém, a IOTA não faz uso de blockchain. Suas transferências são realizadas de forma gratuita, rápida e com menor dispêndio de energia elétrica.

– **Monero (XMR)**

Surgida em 2014, originalmente chamado de BitMonero, o Monero é uma altcoin que tem codificação aberta. É uma criptomoeda que utiliza da Prova de Trabalho, um tipo de protocolo usado na prevenção de ataques cibernéticos. A privacidade dessas trocas é protegida por meio das assinaturas de formato de anel, “Ring CT”, as quais escondem o endereço de envio, ocultando a quantidade numérica de transações realizadas e os endereços furtivos.

– **TRON**

Tron é uma altcoin de protocolo descentralizado. Seu criador é o chinês Justin Sun. O destaque dessa plataforma é poder oferecer maior segurança, escalabilidade e privacidade. Assim

como Ethereum, pretende oferecer a geração de outras criptomoedas e tokens dentro de sua plataforma, para que seja possível fazer uso de outros serviços. Essa criptomoeda tem o potencial de migrar para uma plataforma exclusiva.

– **Dash**

O Dash, conhecido também como XCoin e Darkcoin, originada em janeiro de 2014 por Evan Duffield que é também seu maior desenvolvedor. A maior característica presente neste ativo é ter inserido a governança descentralizada pelo Blockchain System. Além disso, é a primeira organização autônoma descentralizada. Ela utiliza o serviço de variação de moedas conhecido por “Private Send”, com a função de anonimizar as transferências e “Instant Send” para conceder transações eficazes e instantâneas.

– **Tether**

O Tether tende a ser lastreada na cotação do Dólar, sendo considerada uma criptomoeda mais forte e estável do que a maioria de seus concorrentes. Tem a finalidade de ser uma espécie de ponte entre moeda fiduciária e criptomoedas, com o objetivo de aproximar os bancos das Exchanges. A proporção de valor de cotação é aproximadamente de 1:1, assim, considera-se que o preço de uma unidade de Tether se equivale a um Dólar. A plataforma Tether garante o sucesso de suas transferências, pois a soma de todas as unidades de Tether em circulação é menor ou igual aos fundos em Dólares que a empresa possui.

– **VeChain**

A rede VeChain é uma rede que oferece a blockchain como um serviço de informações e produtos para empresas. O fundamento da VeChain é originar valor e distribuir em um ambiente de negócios confiável, circulação autônoma e possuindo escalabilidade. Isso porque, com a colaboração de todos na rede, as empresas poderão se beneficiar da tecnologia da blockchain, tendo acesso a características como confiança nas transações, agilidade para efetuar pagamentos globais e transparência de informações.

– **Ethereum Classic (ETC)**

O Ethereum Classic é uma continuidade do blockchain original do Ethereum, então é considerada também uma plataforma de código aberto baseada em blockchain que suporta o contrato inteligente completo. Ele é criado após o debate hard-fork em 2016 e projetado para permitir que contratos inteligentes sejam executados de forma igual como foram programados.

– **BinanceCoin**

A moeda Binance é limitada ao valor de 200 milhões de tokens, lembrando que esse é um token ERC20 baseado no padrão de token Ethereum. A criptomoeda tem como finalidade ser utilizadas para a transferência de taxas impostas. O pagamento de taxas por meio da moeda Binance também dá ao usuário um desconto.

– **Verge (XVG)**

A Verge é considerada uma moeda digital originada a partir de um aperfeiçoamento do Blockchain no próprio Bitcoin. Ela existe para realizar a finalidade de conter a privacidade de seus agentes no momento em que realizam suas transações par-a-par mais eficientes e descentralizadas. As transações eficazes e incovertíveis são realizadas escala pequena ou larga por qualquer usuário.

– **Qtum**

A Qtum tem sua característica mais importante em ser uma moeda híbrida do Bitcoin e Ethereum. Suas idiossincrasias estão ligadas ao modelo de transferências de tokens em condição confiável, oferecendo uma ferramenta única para essas transações, bem como ter um dispositivo para diversos aplicativos no ramo tecnológico do Blockchain. A finalidade principal é resolver os empecilhos das moedas fiduciárias controladas pelo governo e sistema bancário.

3 APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE DADOS

Este módulo procede à análise da aplicação das propriedades da média-variância, a qual utiliza sua teoria para resolver problemas antigos presentes nas áreas de finanças e economia. A importância da otimização de portfólio vêm aumentando com o passar do tempo, principalmente para os investidores, profissionais e acadêmicos na área das finanças.

A definição de risco presente nos problemas ligados a finanças existe desde o começo do primeiro ato realizado na troca de valores entre os agentes. A teoria de média-variância foi uma das precursoras a utilizar o risco no processo de escolhas. Markowitz fez o uso da volatilidade, medida em sua variância e desvio-padrão como uma forma de risco.

3.1 Análise de portfólio utilizando dados em criptomoedas no Excel

Com o intuito de analisar o desempenho das medidas de risco diferenciadas pela otimização de carteira, serão usados os retornos semanais de 3 criptomoedas distintas no mercado na montagem do primeiro portfólio. Estes ativos são o Bitcoin, Ethereum e Ripple. Os preços desses ativos estão cotados na moeda norte americano (US\$). Eles são considerados as 3 criptomoedas mais importantes presentes no mercado, pois apresentam a maior quantidade de unidades transacionadas por dia (CHUEN et al., 2014). Para realizar a otimização de risco e retorno, será utilizado o valor dos preços datados em 8 de agosto de 2015 até 17 de fevereiro de 2018, totalizando 131 observações realizadas semanalmente, para a elaboração do primeiro portfólio.

A base de cálculo será feita por meio do retorno esperado semanal, sendo o retorno requerido também semanal. Os dados foram retirados da plataforma Kaggle (<https://www.kaggle.com/jessevent/all-crypto-currencies>). Seus respectivos cálculos matemáticos e otimização de risco e retorno foram aplicados no Excel. No intervalo de tempo analisado na amostra, as criptomoedas obtiveram alta variação de preços. A cada ano, desde o início do uso do Bitcoin (2011) para transações comuns, as criptomoedas vêm sofrendo uma alta valorização. No período do segundo semestre de 2017, o Bitcoin atingiu seu maior valor unitário. Outras criptomoedas importantes no mercado, como o Ethereum, Ripple, Litecoin e Bitcoin Cash, também aproveitaram o alto grau de alavancagem junto com o Bitcoin (AMETRANO, 2016).

A aplicação da média-variância é um modelo matemático que visa solucionar o problema de decisão referente à alocação de ativos em uma carteira de investimentos. O modelo relaciona os fatores risco com retorno esperado e supõe que um agente investidor opta em escolher ter menos risco dado um valor de retorno.

A designação de risco empregue é a variância, assim, quanto menor for o valor da variância, menos risco o investidor irá assumir. Definido que risco é igual à variância, ou desvio-padrão, pois estas duas variáveis costumam ter o valor correlacionado. O desafio está na formulação da equação do portfólio, onde o objetivo principal é minimizar a função de risco, ou volatilidade, sob limitação do retorno, sendo o símbolo decisório a quantia a ser concedida ao peso de cada ativo. Na presente monografia, os pesos de nossos ativos serão alocados apenas em criptomoedas. A formulação matemática implica em minimizar a função abaixo:

$$f(w) = \sum_{i,j} w_i w_j \sigma_{ij}$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_i R_i w_i \geq \text{RetMínimo}; e$$

$$\sum_i w_i = 1$$

Onde:

- w_i = percentual investido ao ativo i ;
- R_i = retorno requerido para o ativo i ;
- σ_{ij} = covariância entre os ativos i e j ;
- RetMínimo = retorno esperado mínimo que o portfólio deve atingir.

Na Tabela 1, seguem os valores do retorno médio semanal (média do retorno), volatilidade (desvio-padrão) e matriz covariância para o portfólio em estudo:

Matriz Covariância	Bitcoin	Ethereum	Ripple
Bitcoin	0,01195	0,00369	0,00802
Ethereum	0,00369	0,06427	0,01527
Ripple	0,00802	0,01527	0,09140
	Bitcoin	Ethereum	Ripple
Volatilidade	0,109306958	0,2535214	0,302329
Retorno	0,0280	0,0488	0,0380

Tabela 1 – Matriz covariância, retorno e volatilidade dos ativos do portfólio 1.

Baseado na teoria de Markowitz, as fórmulas referentes à covariância, retorno esperado e desvio padrão dos ativos calculados no Excel equivalem às seguintes fórmulas matemáticas abaixo:

– Minimizar Variância: $Cov(\sigma_i, \sigma_j) = (1/n \sum_{i=1}^n (R_i - u_i)(R_j - u_j))$

Sujeito a:

– Retorno esperado: $E(R) = \bar{R} = \sum_{i=1}^n P_i * R_i$

– Desvio-padrão (volatilidade): $\sigma = \sqrt{\sum (R_i - \bar{R})^2 / n - 1}$

Observa-se nos valores tabelados que a maior covariância dos ativos é entre as criptomoedas Ethereum e Ripple (desconsiderando a covariância entre os ativos iguais). A maior volatilidade está no ativo Ripple, chegando aproximadamente no valor de 30%, enquanto que a maior média do retorno semanal é do Ethereum.

Após estimar os respectivos valores da Tabela 1, utiliza-se a ferramenta Solver para encontrar a melhor distribuição de ativos que tenham a menor variância possível, conforme o retorno semanal requerido. O Solver tem a função de encontrar o menor valor da variância e a melhor distribuição do portfólio de acordo com as restrições colocadas na programação. Assim, é possível encontrar a otimização maximizada para se obter a melhor relação de risco e retorno das criptomoedas analisadas.

Segue abaixo a devida sequência de comandos no Excel e fundamentos matemáticos para encontrar a melhor otimização possível, por meio da técnica de média-variância:

1 – Realiza-se a soma das células que estão inseridas aos valores dos pesos. A soma dos pesos obtida deve totalizar o valor 1. A restrição da soma dos pesos deve ser igual a 1, pois assim

é garantido que o valor a ser investido será alocado nos ativos compostos no portfólio. O resultado da fórmula colocada no Excel será usada como restrição na parte de Solver no cálculo de otimização. Após, faz-se a soma de todas as células que irão ser usadas como variáveis de decisão.

2 – Calcula-se a volatilidade do portfólio. A célula a qual foi aplicada a fórmula da volatilidade da carteira será usada para localizar a variância mínima encontrada pelo Solver. Segundo a teoria média-variância, o objetivo da otimização é minimizar a variância do portfólio.

3 – Esta parte equivale à equação matemática do retorno da carteira. A soma dos pesos encontrados deve ser maior ou igual ao retorno semanal requerido. Essa restrição deve ser formulada na solução do Excel.

4 – Adiciona-se as restrições no Solver do Excel, conforme descrito na Figura 1 abaixo:

The image shows the Solver Parameters dialog box in Microsoft Excel. The 'Define Objective' field is set to '\$M\$18'. Under 'To: Of', the 'Min.' radio button is selected. The 'Changing Variable Cells' field is '\$M\$14:\$M\$16'. The 'Subject to the Constraints' list contains two entries: '\$M\$20 >= \$O\$20' and '\$M\$21 = \$O\$21'. The 'Select a Solving Method' dropdown is set to 'GRG Nonlinear'. The 'Options' button is visible. At the bottom, there are 'Ajuda', 'Resolver', and 'Fechar' buttons.

Figura 1 – Simulação da programação Solver para obter a variância mínima no portfólio.

A barra cujo nome ao lado está escrito “definir o objetivo” deve conter a célula do cálculo da volatilidade do portfólio. As restrições devem conter a soma dos pesos da carteira igual a 1, e o retorno esperado semanal deve ser maior ou igual ao retorno requerido semanal.

Utiliza-se os valores de 3,1%, 3,3%, 3,4%, 3,6%, 3,8%, 4%, 4,5% e 5% como retorno requerido semanal para obter a melhor otimização da distribuição de ativos de criptomoedas.

Segue abaixo a Tabela 2, referente aos valores do retorno esperado semanal, desvio-padrão e distribuição de pesos encontrados através do Solver.

Variância	Ret.	Bitcoin	Ethereum	Ripple	Desvio
1,090%	3,1%	0,86	0,11	0,02	10,44%
1,170%	3,3%	0,74	0,22	0,04	10,82%
1,210%	3,4%	0,71	0,24	0,05	11,00%
1,520%	3,6%	0,58	0,35	0,07	12,33%
1,900%	3,8%	0,47	0,43	0,09	13,78%
2,410%	4,0%	0,36	0,52	0,11	15,52%
4,200%	4,5%	0,10	0,74	0,16	20,49%
6,750%	5,0%	-0,16	0,95	0,21	25,98%

Tabela 2 – Variância, retorno, distribuição de peso dos ativos e desvio-padrão do portfólio composto pelas criptomoedas Bitcoin, Ethereum e Ripple.

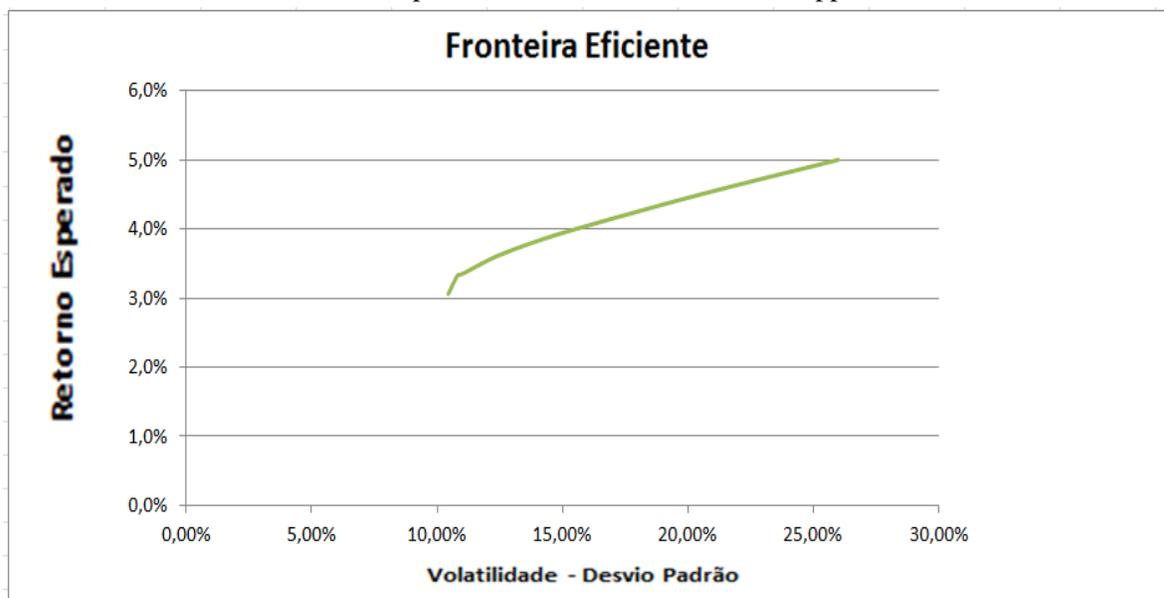


Gráfico 2 – Gráfico referente a fronteira eficiente dos ativos calculados no portfólio 1.

Os valores observados na Tabela 2 revelam informações importantes. Observa-se que, conforme foi visualizado no Gráfico 2, quanto maior o valor do retorno e o desvio-padrão do portfólio, menor será o peso atribuído ao Bitcoin. Assim, quanto maior for o retorno esperado da carteira maior será a sua volatilidade. Os ativos que se localizarem fora da zona gráfica da

fronteira eficiente podem ser considerados como valores ineficientes para se adquirir a melhor vinculação de risco e retorno, estando distanciados da região de otimização do portfólio.

3.2 Experimentos utilizando outras criptomoedas

3.2.1 Carteira composta por Bitcoin Cash, Litecoin e Dash

No segundo experimento, foram escolhidas outras 3 moedas digitais no mercado que podem ser consideradas tão importantes quanto o Bitcoin e o Ethereum. As criptomoedas compostas neste portfólio são o Bitcoin Cash, Litecoin e Dash. O Bitcoin Cash por ser uma moeda vinculada ao próprio Bitcoin original e possui uma valorização excepcional. O teste da média-variância desse conjunto de ativos foi chamado de portfólio 2.

Por se referir à criptomoedas mais recentes no mercado, o espaço amostral dessa carteira é menor do que a primeira realizada. Foi analisado, portanto, o retorno semanal dos ativos da data de 5 de agosto de 2017, mês no qual o Bitcoin Cash surgiu, até o dia 17 de fevereiro de 2018. Ademais, foi utilizada também da plataforma Kaggle para coletar os dados (<https://www.kaggle.com/jessevent/all-crypto-currencies>). Abaixo na Tabela 3, segue os dados referentes à matriz covariância, volatilidade e retorno médio semanal.

Matriz Covariância	Bitcoin Cash	Litecoin	Dash
Bitcoin Cash	0.10073	0.01381	0.02079
Litecoin	0.01381	0.09813	0.02739
Dash	0.02079	0.02739	0.03353
	Bitcoin Cash	Litecoin	Dash
Volatilidade	0.317384272	0.313259	0.183107
Retorno	0.0570	0.0582	0.0446

Tabela 3 – Matriz covariância, retorno e volatilidade dos ativos do portfólio 2.

Observa-se nos valores tabelados que a maior covariância dos ativos é entre as criptomoedas Litecoin e Dash (desconsiderando a covariância entre os ativos iguais). A maior volatilidade está no ativo Bitcoin Cash, também apresentando o maior retorno esperado semanal.

As etapas para se encontrar os respectivos valores foram as mesmas usadas no primeiro portfólio, contudo, ocorreram o uso dos dados referentes aos ativos das criptomoedas mencionadas na tabela acima. Sobre aos resultados do Solver, foi decidido escolher obter os valores de retorno requerido semanal de 4,7%, 5%, 5,2%, 5,5%, 5,8%, 6%, 6,3% e 6,5%. Segue abaixo a Tabela 4, relativo aos valores do retorno esperado semanal, desvio-padrão e distribuição de pesos encontrados no Solver.

Variância	Ret.	Bitcoin Cash	Litecoin	Dash	Desvio
3,120%	4,7%	0,13	0,08	0,78	17,66%
3,290%	5,0%	0,22	0,19	0,58	18,14%
3,640%	5,2%	0,28	0,28	0,43	19,08%
4,520%	5,5%	0,38	0,54	-0,02	21,26%
5,840%	5,8%	0,48	0,43	-0,09	24,17%
6,970%	6,0%	0,55	0,62	-0,17	26,40%
9,020%	6,3%	0,64	0,75	-0,40	30,03%
10,620%	6,5%	0,71	0,84	-0,55	32,59%

Tabela 4 – Variância, retorno, distribuição de peso dos ativos e desvio-padrão do portfólio composto pelas criptomoedas Bitcoin Cash, Litecoin e Dash.

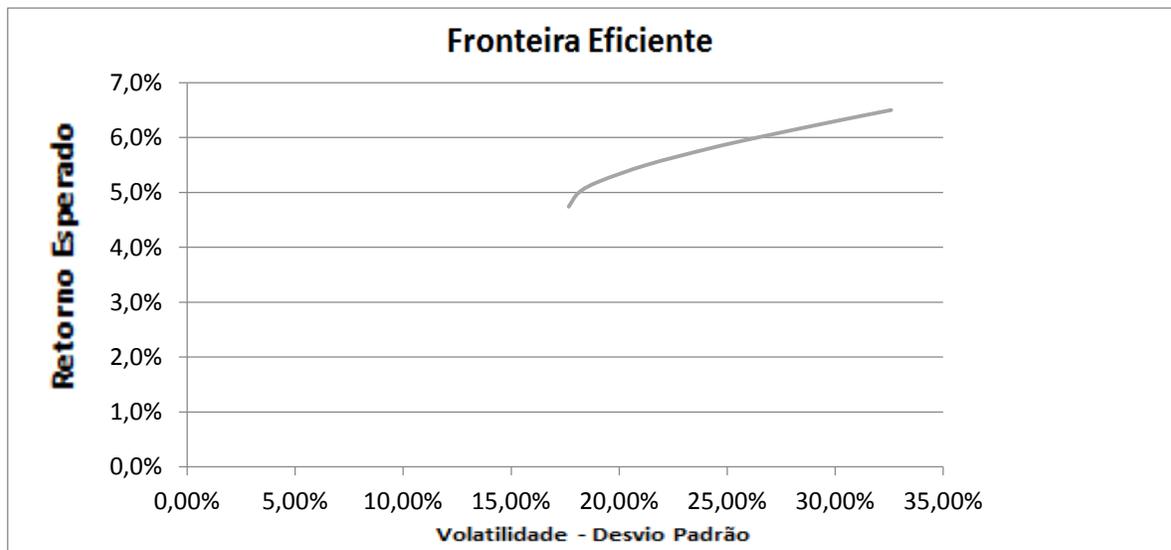


Gráfico 3 – Gráfico referente a fronteira eficiente dos ativos calculados no portfólio 2.

4 CONCLUSÃO

Na primeira parte desta monografia, foram descritas algumas características do mercado financeiro, baseado na teoria atribuída à técnica média-variância e das criptomoedas, bem como a estrutura das moedas digitais. Na segunda parte, foram aplicados os fundamentos elaborados por Markowitz na base de dados das criptomoedas, retirados da plataforma Kaggle (<https://www.kaggle.com>).

Ao longo da pesquisa, comparou-se o desempenho dos resultados usando a técnica média-variância para otimização e elaboração de estratégias para portfólios utilizando somente ativos de criptomoedas. Considerou-se atribuir a diversas carteiras o risco mínimo e otimização da relação entre média e risco para oito valores diferentes de retorno requerido no período semanal. Nas formulações, foram propostos resultados que mostram elevado grau de risco, mesmo tendo sua volatilidade minimizada, graças à diversificação dos pesos dos ativos nos portfólios, segundo os dados históricos das criptomoedas analisadas.

Conforme os valores atribuídos no retorno desejado e a distribuição dos pesos, têm-se diversos resultados que mencionam a variância mínima. O desempenho da correlação entre a volatilidade e retorno dependerá do quanto o investidor espera receber de retorno e também das escolhas dos ativos escolhidos dentro de sua carteira. As medidas de risco de desvio de perdas exibem consistentemente vantagem em relação ao desempenho, tendo bons resultados práticos no experimento.

Por meio da aplicação da média-variância do portfólio 1, é possível considerar que ele apresenta uma alta volatilidade, apesar do alto retorno das criptomoedas ser atraente para os investidores. Na medida em que se espera um maior retorno da carteira, é necessário tomar cuidado quanto ao crescimento da volatilidade dos ativos, principalmente do Bitcoin. Cada vez for menor o peso atribuído ao Bitcoin, mais surge a necessidade de se distribuir mais fundos em outros ativos para manter a diversificação. Observou-se no Gráfico 2 que, conforme for os valores da distribuição de ativos, junto com a menor variância, deve-se manter a carteira mais alinhada possível à linha da fronteira eficiente.

Semelhante ao primeiro portfólio analisado, na carteira 2 percebeu-se que, na medida em que cresce o retorno da carteira, a volatilidade vem aumentando também. Conforme os valores mostrados na Tabela 4, quanto maior for o desvio-padrão menor será o peso atribuído à moeda digital Dash. Comparando as duas carteiras realizadas, fica evidente que os ativos compostos na segunda oferece um maior retorno, entretanto, o risco de perda também é maior. As escolhas entre os dois portfólios dependerá do tipo de investidor e o quanto de risco ele está disposto a correr.

Grande quantidade dos investidores que fazem o uso de computadores e softwares na modelagem do risco em portfólios consegue gerar resultados, em suas carteiras, mais próximos da realidade. Nesta pesquisa, apesar de se trabalhar com uma amostra de dados simples, foi revelada como a utilização de técnicas de otimização, como a média-variância de Markowitz, possibilita determinar de modo mais objetivo como deve ser distribuídos investimentos em ativos, permitindo um retorno maior, conforme se mantém a volatilidade do portfólio no valor mínimo possível.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, J. C. G. **O modelo de avaliação de ativos (capital assetpricingmodel)** – Aplicações. Rio de Janeiro: EAESP/FGV, 1980.
- AMETRANO, F. M., **Hayek Money: the Cryptocurrency Price Stability Solution**. Milano, Università Milano-Bicocca, 2016.
- BADEV, A.; CHEN, M. **Bitcoin: Technical Background and Data Analysis**. Finance and Economic Discussion Series. Divisions of Research & Statistics and Monetary Affairs, Federal Reserve Board. Washington, D.C., 2014
- BAGRI, S. **Introduction of Financial Markets**. New Dehli: Institute of Financial Markets Ltd. of New Dehli, 2007.
- BARROS, D. L. S. **Otimização de portfólios para várias medidas de risco: aplicação em R**. Lisboa, Faculdade de Economia, Universidade do Porto, 2013.
- BODIE, Z., KANE, A., MARCUS, A. **Investments**. 10 ed, 2014.
- CHUEN, D. L. K.; GUO, L.; WANG, Y. **Cryptocurrency: A New Investment Opportunity?** Singapore, Singapore University of Social Sciences, 2014.
- CORNUEJOLS, G. TÛTÛNCÛ, R. **Optimization Methods in Finance**. Pittsburgh. Carnegie Mellon University, 2006.
- DARŠKUVIENĖ, V. **Financial Markets**. Lithuania, Leonardo da Vinci Programe Project, 2010.
- FRIEDMAN, M. **Livre Para Escolher: Um Depoimento Pessoal**. 1 ed. New York: Record, 2015.
- GRIFFIN, E. G. **The creature from Jekyll Island**. 3 ed. Georgia: Amer Media, 1998.
- HEID, A. **Analysis of the Cryptocurrency Marketplace**. Miami, Florida International University, 2014.
- HILL, R. A. **Portfolio Theory & Financial analysis**. Boston: ACCA, 2010.
- KAGGLE. **Every Cryptocurrency Daily Market Price**. Disponível em: <<https://www.kaggle.com/>>. Acesso em 11 junho 2018.
- MARKOWITZ, H. **Portfolio selection**. The Journal of Finance, v. 7, n. 1, 1952.
- NARAYANAN A.; BONNEAU J.; FELTEN E.; MILLER A.; GOLDFEDER S. **Bitcoin and Cryptocurrency Technologies**. New Jersey: Princeton University Press, 2016.