Análise da aplicação da moderna teoria de portfólio de Markowitz sobre o mercado de criptomoedas

Matheus Pereira Costa

2023-07-01

Sumário

Resumo

**Contexto**: O mercado de criptomoeda tem se maturado como uma alternativa ao mercado de ações de renda variável, criou assim novos modelos de negócios e formas de realizar transações. **Lacuna**: No entanto, por ser algo recente ainda há poucos estudos a utilizar a moderna teoria de portfólio de Markowitz aplicado a este setor. **Proposta**: Devido à alta volatilidade deste mercado, o estudo tem por objetivo verificar a aplicação da moderna teoria de portfólio de Markowitz sobre o mercado de criptomoeda. **Metodologia**: Essa pesquisa se caracteriza como uma pesquisa exploratória-quantitativa que usará como abordagem de revisão bibliográfica e análise de dados. **Resultados**: Teve como resultado positivo ao calcular o índice Sharpe de diversas combinações de carteira e traçar a fronteira eficiente, confirmado que é possível a aplicação da moderna teoria de portfólio de Markowitz no mercado de criptomoedas.

# 1. INTRODUÇÃO

As criptomoedas são observadas por diversos grupos da sociedade ao redor do mundo, como por exemplo: investidores, financeiras, organizações governamentais, bancos centrais, legisladores, economistas, pesquisadores e etc. umas das explicações possíveis a esse fenômeno se dá ao fato do alto nível de liquidez como resultado de uma flexibilização monetária, e também pequenos rendimentos de ativos financeiros ([OZDURAK; UMUT; OZAY, 2022](#ref-ozdurak2022)).

No entanto há divergência da classificação das criptomoedas (BOURI, 2017 apud [KLIBER et al., 2019](#ref-kliber2019)).

De acordo com FRY; IBILOYE ([2023](#ref-fry2023)) as criptomoedas se assemelham, no geral, como uma classe de ativo financeiro tecnológica. São exceções o Bitcoin e a Solana, no qual tem características de moeda.

Para OZDURAK; UMUT; OZAY ([2022](#ref-ozdurak2022)) elas podem ser classificadas em diversos grupos como: instrumentos financeiros, valores mobiliários, commodities ou instrumento de pagamento.

Já para BREUNIG ([2020](#ref-breunig2020)) o Bitcoin não deva ser categorizado como uma moeda fiduciária, devido não possuir a função reserva de valor, pois possui a alta variação no seu preço.

O Brasil se integra a um grupo seleto de países que possuem regulamentação para as criptomoedas por intermédio da Lei 14.478/2022, no qual conceitua as criptomoedas como os ativos virtuais. Classifica as criptomoedas como representação de valor que pode ser negociada, utilizada como meio de pagamento ou com propósitos de investimentos. Fica desassociado o Bitcoin como moeda fiduciária ([NETO, 2023](#ref-neto2023)).

A iniciativa de investimento é uma tentativa de segurança contra qualquer ameaça que possa enfrentar ([MA et al., 2020](#ref-ma2020)).

De acordo com MARKOWITZ ([1952](#ref-markowitz1952)) a seleção de portfólio pode ser observada entre dois estágios, o primeiro se baseia na observação e experiência e tem como resultado a crença sobre os possíveis retornos do título no futuro. Já no segundo estágio se baseia no resultado da primeira e tem como conclusão a escolha do portfólio.

Ou seja, a moderna teoria de portfólio desenvolvida por Harry Markowitz se baseia na abordagem da construção de portfólio com o intuito de maximizar o retorno esperado a um menor risco ([ABU BAKAR; ROSBI, 2019](#ref-abubakar2019)).

Este estudo teve por objetivo verificar a aplicação da moderna teoria de portfólio sobre o mercado de criptomoedas.

Foi empregado o conceito de criptomoedas como ativo financeiro, devido ao seu perfil de risco e retorno e a sua característica especulativa.

A carteira foi composta por Bitcoin, Ethereum, Binance, XRP, Cardano, Dogecoin, Solana e Polygon. No qual foi verificado a relação de risco e retorno entre cada um dos ativos selecionados, a correlação entre esses ativos, foi verificado a melhor combinação de portfólio com base no índice Sharpe e comparado os resultados do portfólio otimizado contra um igualmente distribuído.

Foi utilizado a linguagem de programação R para realizar os cálculos, os gráficos e gerar 18.832 diferentes combinações de carteira, ao variar os pesos de cada ativo na carteira em 0.1.

Este estudo está estruturado da seguinte forma. No capítulo [Seção 2](#sec-metodologia) apresenta a metodologia da pesquisa. No capítulo [Seção 3](#sec-revisao) é realizado uma breve revisão sobre as criptomoedas selecionadas. No capítulo [Seção 4](#sec-desenvolvimento) é feito a revisão literária sobre o que são criptomoedas, suas classificações, apresenta o conceito de moeda do ponto de vista econômico e jurídico e apresenta o conceito de Markowitz. No capítulo [Seção 5](#sec-resultados) são apresentados os resultados. No capítulo [Seção 6](#sec-conclusao) ocorre a conclusão do estudo.

# 2. METODOLOGIA

Esse trabalho teve por objetivo geral: verificar a aplicação da moderna teoria de portfólio sobre o mercado de criptomoedas. Teve como objetivos específicos: conceituar criptomoedas como ativos financeiros, diferenciar o mercado criptomoeda do mercado de renda variável, verificar a classificação das criptomoedas na regulação brasileira e comparar o resultado da utilização da moderna teoria de portfólio de Markowitz contra uma seleção de portifólio igualmente distribuído.

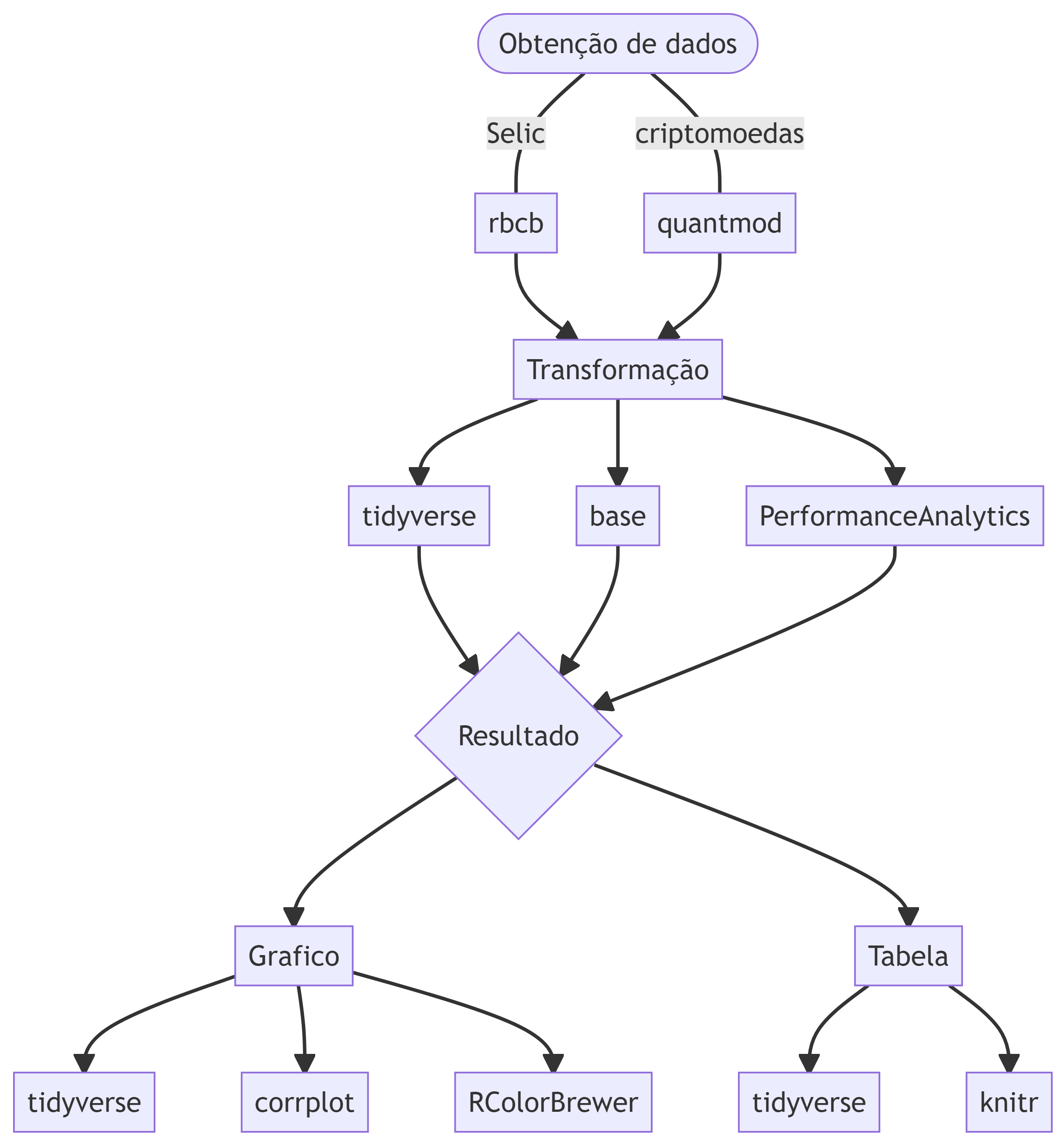
Esta pesquisa se classifica como objetivo exploratória, com a abordagem quantitativa, possui natureza básica e utiliza o método dedutivo.

A revisão bibliográfica foi realizada sobre uma seleção de artigos disponíveis nas plataformas: Periódicos CAPES, Scopus e Google Acadêmico. No qual atenderam aos seguintes critérios de busca: Markowitz, portfólio optimization, otimização de portfólio, cryptocurrency, criptomoeda, currency, moeda, stock market, mercado de renda variável, bolsa de valores, cryptomarket, mercado de criptomoedas, regulation, regulação, scams, golpes. os idiomas de pesquisa foram limitados a Português e Inglês. Também foi limitado as pesquisas entre o período de 2018 até 2023.

Foram utilizados como fonte para a realização dos códigos em R: o livro ([REGENSTEIN, 2018](#ref-regenstein2018)) e o site ([2018](#ref-portfoli2018)).

Para realizar os cálculos foi utilizado a linguagem de programação R e os seguintes pacotes: **corrplot** ([WEI; SIMKO, 2021](#ref-wei2021)), **knitr** ([XIE, 2014](#ref-xie2014)), **openxlsx** ([SCHAUBERGER; WALKER, 2023](#ref-schauberger2023)), **PerformanceAnalytics** ([PETERSON; CARL, 2020](#ref-peterson2020)), **quantmod** ([RYAN; ULRICH, 2022](#ref-ryan2022)), **rbcb** ([FREITAS, 2022](#ref-freitas2022)), **RColorBrewer** ([NEUWIRTH, 2022](#ref-neuwirth2022)), **scales** ([WICKHAM; SEIDEL, 2022](#ref-wickham2022)) e **tidyverse** ([WICKHAM et al., 2019](#ref-wickham2019)).

É ilustrado a utilização de cada um dos pacotes mencionados anteriomente no seguinte diagrama feito através do pacote **mermaid** ([«Mermaid | Diagramming and charting tool», [s.d.]](#ref-mermaid))



Os cálculos para a realização dos retornos mensais, retornos do portfólio e do índice Sharpe foram feitos através das seguintes funções *Return.calculate*, *Return.portfolio* e *SharpeRatio*. Estas funções pertencem ao pacote **PerformanceAnalytics**.

Para realizar os cálculos das matrizes de covariância, correlação e a expectativa de retorno média. Foram utilizadas as funções *cov*, *cor* e *mean* do pacote **Base**.

Para realizar a criação dos gráficos foram utilizados um conjunto de funções do pacote tidyverse: *ggplot*, *geom\_point*, *theme\_classic*, *scale\_y\_continuous*, *scale\_x\_continuous*, **theme** e *labs*.

O pacote do tidyverse também foi utilizado para realizar a transformação da tabela de um formato largo para o formato longo. Foi feito através da função *pivot\_longer*. Também foi utilizado as funções *as.data.frame* e *rownames\_to\_column* para converter de um formato xts de arquivo para um formato tidy.

Para a realização do gráfico de covariância foi utilizado a função *corrplot* do pacote **corrplot** e a função *brewer.pal* foi utilizado para a seleção da paleta de cores do gráfico, no qual pertence ao pacote **RColorBrewer**.

Para realizar as diversas combinações de pesos possíveis ao portfólio, foi usado as funções *expand.grid*, *do.call*, *rep*, *list*, *rowSums*, *which*, *seq*, *length* e *setNames* do pacote **Base** e *as\_tibble* e *reduce* do pacote **tidyverse**.

Foi variada por 0.1, ou seja 10%, os pesos em cada combinação ao respeitar que a somatória de todos os pesos da carteira deva ser igual a 1, no qual 1 é igual a 100%, foi gerado um total de 18.832 possíveis combinações com 8 ativos na carteira.

Para iterar sobre cada um dos pesos foi utilizado o *for* que é uma função de looping até que determinada condição seja satisfeita.

Para a seleção das criptomoedas foi utilizado o critério das 10 maiores criptomoedas em relação a capitalização de mercado de acordo com a plataforma *coinmarketcap* ([«Preços, Gráficos e Capitalização de Mercado das Criptomoedas», [s.d.]](#ref-preços)) no dia 01/05/2023. Foi removido os ativos Tether e Usd coin devido a elas funcionarem como uma moeda digital fiduciária, no qual é pareado o seu valor 1:1 com o dólar. Dessa forma a carteira foi composta de 8 criptomoedas.

Os ativos selecionados foram: Bitcoin, Ethereum, Binance, XRP, Cardano, Dogecoin, Solana e Polygon. No qual os seus símbolos são representados em pares com o a moeda estável USD, são eles: BTC-USD, ETH-USD, BNB-USD, XRP-USD, ADA-USD, DOGE-USD, SOL-USD e MATIC-USD.

Os dados foram obtidos através da plataforma Yahoo Finance ao utilizar a função *getSymbols* do pacote **quantmod**, no qual o período analisado foi de 01/01/2020 até 01/01/2023. É importante destacar que devido a criptomoeda da Solana só ter seus dados disponíveis a partir de 11/04/2020, a análise para a composição do portfólio foi realizada a partir dessa data em diante.

A taxa livre de risco foi utilizada com base na taxa Selic ao usar a estrutura de RAMALHO ([2020](#ref-ramalho2020)) no qual transforma a taxa Selic anual média para mensal através da equação de conversão de juros anual para mensal. Nesse trabalho ao invés de converter para a taxa mensal será convertido pra diária, pois será trabalhado com dados diários das criptomoedas.

A formula para realizar a conversão da taxa de juros anual para diária utilizada foi:

Onde: = taxa de juros diária e = taxa de juros média anual

Os dados da taxa Selic foram obtidos através da função *get\_series* do pacote **rbcb** no qual realiza consultas na API do banco central. Os dados coletados da taxa Selic foram do mesmo período analisado das criptomoedas, 01/01/2020 até 01/01/2023. A taxa Selic anual média analisada foi de 6.56% e a taxa Selic diária média foi de 0.03%.

# 3. REVISÃO SOBRE AS CRIPTOMOEDAS UTILIZADAS

Foram utilizadas nesse trabalho 8 criptomoedas, esta seção traz uma breve revisão sobre elas.

O Bitcoin foi criada em 2008 com característica de ser uma moeda descentralizada no qual permite transações entre as partes sem intermediários e não possui alguma entidade que o controle, porém há contribuições continuas de diversos programadores para a continua evolução e melhoria da rede ([«Bitcoin (BTC) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado», [s.d.]](#ref-bitcoin)).

O Ethereum assim como o Bitcoin, também é uma criptomoeda descentralizada e funciona como um meio para que as outras criptomoedas possam operar em sua rede, tem como destaque a elaboração dos contratos inteligentes. Ela teve seu whitepaper publicado em 2013, porém só foi fundada em 2014 por oito cofundadores, dentre eles o Vitalik Buterin é o mais conhecido, a sua sede fica na cidade de Zug, Suíça. Tem como seus principais objetivos ser uma plataforma universal para outras criptomoedas executem seus softwares nela ([«Ethereum (ETH) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado | CoinMarketCap», [s.d.]](#ref-ethereum)).

O Binance é um token da Binance que por sua vez é uma corretora de criptomoeda, ela oferece desconto em taxas aos seus detentores e direito de participação em lançamentos de tokens dentro de sua plataforma, foi lançado em 2017 através de uma ICO ([«BNB (BNB) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado», [s.d.]](#ref-bnb)).

O XRP é uma moeda nativa da plataforma da Ripple, foi criada em 2012 pela empresa Ripple Labs Inc com o objetivo de ser um sistema de pagamento global, uma das suas principais vantagens é o baixo custo de enviar dinheiro por sua rede ([«XRP (XRP) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado», [s.d.]](#ref-xrp)).

O Cardano foi lançado em 2017, ela é utilizada por empresas agrícolas no rastreio dos seus produtos. tem como característica a participação democrática dos detentores de sua moeda sobre as mudanças projetadas na rede por sua equipe ([«Cardano (ADA) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado», [s.d.]](#ref-cardano)).

O Dogecoin é uma moeda meme de uma raça de cachorro Shiba Inu, no qual foi criada em 2013 por Billy Markus e entre outros, porém só foi lançada em 2014. Ela é usada principalmente como um sistema de gorjeta no fórum do Reddit e também é utilizada com o intuito especulativo já que ele é influenciado pelas redes sociais ([«Dogecoin (DOGE)», [s.d.]](#ref-dogecoin)).

A Solana foi criada com o intuito de facilitar a elaboração de D’app que também são conhecidos como aplicativos descentralizados. Ela foi criada em 2020 pela empresa Solana Foundation, ela tem sua sede em Genebra, Suíça. Ela apresenta uma inovação ao introduzir o sistema de proof of history no qual permite maior usabilidade no protocolo ([«Solana (SOL) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado», [s.d.]](#ref-solana)).

A Matic é uma criptomoeda da Polygon que funciona como meio para transações dentro da sua rede, foi criada em 2017 por Jaynti Kanani, Sandeep Nailwal e Anurag Arjun. Tem como funcionalidades: a possibilidade da participação das decisões adotadas dentro do projeto, funcionar como um meio de pagamento e staking, que é uma forma de obter renda passiva com o ativo. A polygon é uma plataforma que busca facilitar a conexão entre redes compatíveis com a ethereum e reduzir problemas nesse processo ([«Polygon - Products, Competitors, Financials, Employees, Headquarters Locations», [s.d.]](#ref-polygon)).

# 4. REVISÂO DE LITERATURA

## 4.1 CRIPTOMOEDA

As criptomoedas são observadas por diversos grupos da sociedade ao redor do mundo, como por exemplo: investidores, financeiras, organizações governamentais, bancos centrais, legisladores, economistas, pesquisadores e etc. umas das explicações possíveis a esse fenômeno se dá ao fato do alto nível de liquidez como resultado de uma flexibilização monetária, e também pequenos rendimentos de ativos financeiros ([ARZOVA; ?ZDURAK, 2021](#ref-arzova2021)).

O seu termo surgiu com o advento da inovação tecnológica desenvolvida pelo pseudônimo Satoshi Nakamoto ao criar o Bitcoin com o intuito de ser um meio de troca. Diferente das moedas fiduciárias, a criptomoeda não se baseia na figura de uma autoridade central, mas sim na criptografia pra controlar e administrar ([KLIBER et al., 2019](#ref-kliber2019)).

Com a criação do Bitcoin, foi concretizado os desejos de grupos anarquistas, no qual via o instrumento da criptografia como uma alternativa viável contra o controle e supervisão estatal por volta dos anos 1980 e 1990 ([MATTOS; ABOUCHEDID; SILVA, 2020](#ref-mattos2020)).

As criptomoedas possuem a características de ser uma moeda descentralizada que operam sob a blockchain. Elas são operadas de forma de pessoa para pessoa sem a interferência de terceiras partes envolvidas, no qual a validação de cada transação é feita por computadores conectados à rede ([MATTOS; ABOUCHEDID; SILVA, 2020](#ref-mattos2020)).

O conceito de blockchain para o mercado de criptomoedas, é como um livro-razão onde se registra dados das transações. No qual só pode ser adicionado o novo dado ao final deste livro ([KOLB et al., 2021](#ref-kolb2021)).

Novos blocos são adicionados por certos nós na rede e vinculados criptograficamente a blocos de dados anteriores, o que torna a blockchain inviolável e acessível a todos na rede ([SCHELLINGER, 2020](#ref-schellinger2020)).

Para que um nó valide determinado bloco na blockchain é feito um trabalho denominado de mineração (ULRICH, 2014 apud [ARAGON, 2018](#ref-aragon2018)).

O conceito de mineração consiste em um processo no qual computadores conectados à rede tentam solucionar os cálculos matemáticos (ULRICH, 2014 apud [ARAGON, 2018](#ref-aragon2018)).

O processo de mineração criptomoeda se tornou uma forma de renda acessível onde há uma alta inflação e falta de confiança nos governos locais ([KLIBER et al., 2019](#ref-kliber2019)).

Um exemplo é o caso da Venezuela, pois em um período, a eletricidade era subsidiada então não havia custos de energia para o indivíduo. No entanto em 2016 o presidente Maduro anunciou a proibição de mineração de Bitcoin e outras criptomoedas, em 2018 foi declarado legal novamente devido a vontade do governo de lançar a sua própria criptomoeda nacional ([KLIBER et al., 2019](#ref-kliber2019)).

Além disso as criptomoedas possibilitaram uma nova forma de arrecadar fundos para pequenas startups através da ICO (Initial Coin Ofering, oferta inicial da moeda) ([XU et al., 2021](#ref-xu2021)).

O conceito de ICO é compreendido como uma forma descentralizada de fundo colaborativo no qual é empregado sobre a rede da blockchain, para arrecadação através da emissão de tokens. Portanto possui a característica do rápido método de financiamento e um limite baixo ([XU et al., 2021](#ref-xu2021)).

Há a possibilidade do uso dessa nova tecnologia aplicado ao sistema financeiro, com objetivo de facilitar a inclusão financeira aos indivíduos marginais da sociedade, no qual não possuem banco e, portanto, não se comunicam com um sistema financeiro formal. Dessa forma as remessas financeiras ocorreriam através de criptomoedas e transferências mobiles ([MA et al., 2020](#ref-ma2020)).

Por outro lado, o mercado de criptomoedas possui riscos como por exemplo a assimetria da informação entre os mercados, seja elas causadas por problemas de softwares (Bugs, hacks e etc) ([BENEDETTI; NIKBAKHT, 2021](#ref-benedetti2021)).

Outro ponto a destacar é a presença de bolhas no mercado de criptomoedas devido a alta expectativa do seu preço no futuro e ao risco assumido ([WHITE et al., 2020](#ref-white2020)).

Para SCHELLINGER ([2020](#ref-schellinger2020)) o aparecimento de bolhas no mercado de criptomoedas é devido à alta especulação.

Além disso, o mercado de criptomoedas é sujeito a diversos tipos de golpes, no qual é categorizado entre sete tipos de golpes principais: esquemas ponzi, malware, falsos serviços criptos, golpes de taxas avançadas, e-mail negro, falsa ICO e lavagem de dinheiro ([BARTOLETTI et al., 2021](#ref-bartoletti2021)).

O esquema ponzi é um golpe que promete pagar altos retornos sobre o montante investido. No qual estes retornos são pagos por novos participantes do esquema ([KERR et al., 2023](#ref-kerr2023)).

O vírus malware é categorizado entre dois tipos principais de vírus: ransomware e crypto loggers. No qual os desenvolvedores de vírus exploram a propriedade da não rastreabilidade das criptomoedas ([BARTOLETTI et al., 2021](#ref-bartoletti2021)).

O vírus ransoware é uma violação dos aparelhos tecnológicos no qual bloqueiam o acesso a eles, até que determinado pagamento seja feito (MUSIALA, 2020 apud [TROZZE et al., 2022](#ref-trozze2022)).

Já no caso do vírus crypto loggers, ele é mais sutil ao ser uma interface transparente que tenta descobrir a chave secreta da carteira da vítima e assim realizar pagamentos da conta dele para a do golpista ([BARTOLETTI et al., 2021](#ref-bartoletti2021)).

Os falsos serviços criptos são golpes em que criminosos desenvolveram serviços que se passam como aplicações reais, alguns exemplos são: falsas corretoras de criptomoedas, falsas carteiras, falsos mix, falsas piscinas de mineração e falsas doações ([BARTOLETTI et al., 2021](#ref-bartoletti2021)).

As falsas corretoras de criptomoedas se referem a golpes em que as vítimas são convencidas a comprar criptomoedas através dessas falsas corretoras de criptomoedas, após a compra fecham as falsas corretoras de criptomoedas e somem com o dinheiro ([KERR et al., 2023](#ref-kerr2023)).

As falsas carteiras são serviços que fornecem o armazenamento de criptomoedas no qual assim que as vítimas enviam suas criptomoedas, os criminosos transferem todos ou parcialmente o dinheiro existente da carteira da vítima ([KERR et al., 2023](#ref-kerr2023)).

Os falsos serviços mixing permitem, ao randomizar o número de transações e utilizar algum endereço externo, apagar os links entre endereços iniciais e finais nos movimentos da blockchain. Porém eles recebem o dinheiro e não reenviam ao cliente ([BARTOLETTI et al., 2021](#ref-bartoletti2021)).

As falsas piscinas de mineração são compreendidas como operações no qual, o criminoso, induzem as vítimas a investir em projetos que tem por intenção a operação de mineração de criptomoeda e com isso promete altos retornos, porém essas vítimas não são pagas ([KERR et al., 2023](#ref-kerr2023)).

As falsas doações são feitas através de campanhas de doações falsas que prometem ajudar em algum projeto ou pessoa, porém eles somem com o dinheiro ([BARTOLETTI et al., 2021](#ref-bartoletti2021)).

Os golpes das taxas avançadas são práticas que tentam convencer a vítima a enviar criptomoedas a um endereço particular com promessas de retorno maior (Phillips & Wilder, 2020 apud [TROZZE et al., 2022](#ref-trozze2022)).

Os e-mails negros são um tipo de golpe em que e-mails são enviados as vítimas em que o golpista alega ter as hackeado e as gravado através da webcam. Dessa forma ele solicita pagamento de resgate para não publicar em redes sociais e deletar o material coletado ([BARTOLETTI et al., 2021](#ref-bartoletti2021)).

As falsas ICO’s se caracterizam com alguma característica particular que as demais não possuem, por exemplo como o apoio de uma celebridade ou um time falso de trabalho, induzem assim ao comprador adquirir participação no falso projeto ([BARTOLETTI et al., 2021](#ref-bartoletti2021)).

A lavagem de dinheiro é caracterizada como dinheiro que provém de origem ilícita que para ser usado como dinheiro legal é feito um disfarce sobre sua origem. ([SILVEIRA, 2020](#ref-silveira2020))

De tal forma é possível notar duas diferenças principais entre o mercado de renda variável com o de criptomoedas, são elas: o ambiente regulatório e a característica tecnológica aplicada ([BENEDETTI; NIKBAKHT, 2021](#ref-benedetti2021)).

A falta de regulação aplicadas ao mercado de criptomoedas acaba por não garantir a integridade desse mercado e a sua transparência é o fator mais distintivo entre o mercado de renda variável, porém já é possível notar um desenvolvimento nesse sentido com a adesão dos procedimentos contra lavagem de dinheiro (AML), conheça seu cliente (KYC) e requerimento de reserva ([BENEDETTI; NIKBAKHT, 2021](#ref-benedetti2021)).

Em relação a tecnologia, o mercado de criptomoedas é marcado pela custodia descentralizada, ou seja, o mercado assume a custodia do token no qual o usuário transfere de sua carteira para o mercado ([BENEDETTI; NIKBAKHT, 2021](#ref-benedetti2021)).

Já para o mercado de renda variável é o oposto, a custodia é centralizada no qual as operações sobre ele são feitas através de intermediários enquanto no mercado criptoativo as operações são feitas diretamente entre as partes ([BENEDETTI; NIKBAKHT, 2021](#ref-benedetti2021)).

No entanto há divergência da classificação das criptomoedas (BOURI, 2017 apud [KLIBER et al., 2019](#ref-kliber2019)).

Para Chuen (2015) devido as criptomoedas serem sujeitas a oscilações diárias em seu valor e serem negociadas através de corretoras especializadas em criptomoedas, faz com que elas se caracterizem mais como um ativo financeiro (apud [MATTOS; ABOUCHEDID; SILVA, 2020](#ref-mattos2020)).

De acordo com FRY; IBILOYE ([2023](#ref-fry2023)) as criptomoedas se assemelham no geral como uma classe de ativo financeiro tecnológica, são exceções o Bitcoin e a Solana, no qual tem características de moeda.

Já para OZDURAK; UMUT; OZAY ([2022](#ref-ozdurak2022)) elas podem ser classificadas em diversos grupos como: instrumentos financeiros, valores mobiliários, commodities ou instrumento de pagamento.

Portanto devido a possibilidade da caracterização da criptomoeda como uma moeda fiduciária, se faz necessário uma análise sobre o conceito de moeda e sua classificação do ponto de vista jurídico.

## 4.2 MOEDA

O conceito de moeda é caracterizado como uma criação do estado com a finalidade de ser um meio de pagamento para obrigações fiscais (KNAPP. 2023 apud [BERNARDO; NORI; BERNARDELLI, 2019](#ref-bernardo2019)).

Ou seja, a moeda é um reconhecimento de dívida. No qual a transformação em dinheiro é realizada através do poder do estado de declarar que é passível de quitação de outras dividas ([MATTOS; ABOUCHEDID; SILVA, 2020](#ref-mattos2020)).

Para que seja considerado uma moeda, ela deve exercer três funções elementares: meio de troca, unidade de conta e reserva de valor (NUNES, 2016 apud [ARAGON, 2018](#ref-aragon2018)).

A função meio de troca é o que possibilita a realização de compra e venda entre bens e serviços, a função unidade de conta é o que permite uma padronização monetária para que as mercadorias e os insumos sejam quantificados em dinheiro e a função reserva de valor resguardar o valor do dinheiro utilizado para que em momento posterior possa ser usado como meio de troca ([ESTELLITA, 2020](#ref-estellita2020)).

Além dessas três funções clássicas da moeda, ela deve conter as seguintes características: divisibilidade, durabilidade, alta complexibilidade para falsificação, manuseabilidade e transportabilidade ([BREUNIG, 2020](#ref-breunig2020)).

No caso específico do Bitcoin, ele tem as propriedades da divisibilidade e portabilidade, possui assim características de ser um meio de pagamento descentralizado [ARAÚJO; SILVA, 2017 apud JUNIOR; ASRILHANT ([2021](#ref-junior2021))].

Para Woodford (2011) As criptomoedas com características semelhantes ao Bitcoin possuem as funções reservas de valor, meio de troca, mas não a da unidade de conta pois a falta de uma ampla aceitação da sociedade para utilizarem ao realizar trocas entre si (apud [WHITE et al., 2020](#ref-white2020)).

Já para BREUNIG ([2020](#ref-breunig2020)) o Bitcoin não deva ser categorizado como uma moeda fiduciária devido não possuir a função reserva de valor pois possui a alta variação no seu preço.

Esse pensamento é confirmado também por ARAGON ([2018](#ref-aragon2018)) ao relacionar a alta volatilidade do Bitcoin com o principal fator impeditivo de classifica-la como moeda e assim a afasta de seu proposito originário.

## 4.3 REGULAÇÃO

Para o âmbito jurídico a moeda deve possuir o cursor legal que é classificado quando as pessoas de uma determinada sociedade tem por obrigação aceitar a moeda, o cursor forçado quando não é permitido pedir reembolso em forma de outros ativos e o poder liberatório quando é meio jurídico valido para quitar dívidas e obrigações contraídas ([CASTELLO, 2019](#ref-castello2019)).

Segundo Telles (2020, p. 59) as criptomoedas não possuem nenhum desses atributos (apud [MORAIS; FALCÃO, 2022](#ref-morais2022)).

Para Silveira (2020, p. 30/31) há a possibilidade delas possuírem o poder libertário (apud [MORAIS; FALCÃO, 2022](#ref-morais2022)).

No geral as criptomoedas tem diversas classificações acerca de como deva ser compreendida ao redor do mundo, enquanto alguns países baniram o direito da comercialização e da circulação da moeda, como é o caso de Nepal. Porém em sua grande maioria é liberado, na Itália e Japão é exigido o registro e a licença da operação da criptomoeda e no México é aceito como meio de pagamento ([SHIRAKAWA; KORWATANASAKUL, 2019](#ref-shirakawa2019)).

O Brasil se integra a um grupo seleto de países que possuem regulamentação para as criptomoedas por intermédio da Lei 14.478/2022, no qual conceitua as criptomoedas como os ativos virtuais. Classifica as criptomoedas como representação de valor que pode ser negociada, utilizada como meio de pagamento ou com propósitos de investimentos. Fica desassociado o Bitcoin como moeda fiduciária ([NETO, 2023](#ref-neto2023)).

A lei também procura regular as corretoras de criptomoedas, pois elas só poderão atuar em território brasileiro mediante autorização dos órgãos da administração pública, além disso também ficou permitido ao Banco Central acumular ou prestar serviço de ativos virtuais ([NETO, 2023](#ref-neto2023)).

Segundo Vaz de Almeida (2023) com a criação da lei ficou estabelecido um dispositivo no qual prever a criação de um novo código penal específico aplicado a fraudes que envolvem criptomoedas (apud [FONTGALLAND; MENEZES; FÉLIX, 2023](#ref-fontgalland2023)).

A classificação de prestadoras de serviço de criptomoedas passou a ser semelhante a de instituições financeiras, também foi estabelecido que tais agentes se enquadravam no rol do artigo 9 da lei 9.613 aplicados a lavagem de dinheiro e no código de defesa do consumidor ao conduzir operações no mercado de criptomoedas ([FONTGALLAND; MENEZES; FÉLIX, 2023](#ref-fontgalland2023)).

## 4.4 MARKOWITZ

A iniciativa de investimento é uma tentativa de segurança contra qualquer ameaça que possa enfrentar, portanto a alocação de dinheiro para benefício no futuro é um traço comum humano ([MA et al., 2020](#ref-ma2020)).

Harry Markowitz foi um dos pioneiros ao realizar estudos que verificavam os benefícios da diversificação da carteira ([«Economista Harry Markowitz, criador da Teoria Moderna de Portfólio, morre aos 95 anos», 2023](#ref-Globo)).

Markowitz nasceu em 1927 em Chicago, Estados Unidos ([«The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1990», [s.d.]](#ref-nobelPrize)).

Ele publicou sua teoria em 1952, intitulada seleção de portfólio, no qual posteriormente passou a ser conhecida como moderna teoria de portfólio ([«Economista Harry Markowitz, criador da Teoria Moderna de Portfólio, morre aos 95 anos», 2023](#ref-Globo)).

Em 1990 recebeu o prêmio Nobel de economia pela teoria que revolucionou a forma de construir uma carteira de investimento ([RESEARCH, [s.d.]](#ref-Suno)).

Ele faleceu no dia 26 de junho de 2023 ([RESEARCH, [s.d.]](#ref-Suno)).

Segundo MARKOWITZ ([1952](#ref-markowitz1952)) a seleção de portfólio pode ser observada entre dois estágios, o primeiro se baseia na observação e experiência e tem como resultado a crença sobre os possíveis retornos do título no futuro. Já no segundo estágio se baseia no resultado da primeira e tem como conclusão a escolha do portfólio.

O seu estudo foi baseado no segundo estágio, portanto se baseia na regra que o retorno esperado é desejável e a variância é indesejável ([MARKOWITZ, 1952](#ref-markowitz1952)).

Ou seja, a moderna teoria de portfólio desenvolvida por Harry Markowitz se baseia na abordagem da construção de portfólio com o intuito de maximizar o retorno esperado a um menor risco ([ABU BAKAR; ROSBI, 2019](#ref-abubakar2019)).

O retorno esperado de cada ativo pode ser calculado através da subtração logarítmica ([ARZOVA; ?ZDURAK, 2021](#ref-arzova2021))

Onde: = Retorno do ativo x no período t e P = Preço do ativo no período t

O risco do ativo é calculado através da formula do desvio padrão ([ABU BAKAR; ROSBI, 2019](#ref-abubakar2019)).

Onde: = desvio padrão de x, n = é o número pontos, = os dados de cada valor e = é a média da variável x

A diversificação do portfólio tem por intenção suavizar os riscos não sistêmicos em um portfólio, no qual se baseia em que se um ativo tiver uma performance ruim, logo os outros ativos da sua cesta neutralizarão o desempenho negativo, dado que a correlação entre eles seja negativa ([KLIBER et al., 2019](#ref-kliber2019)).

A correlação é uma medida de como os ativos se movem juntos, ou seja, é um coeficiente que indica a forma como os ativos podem ser usados para um portfólio com o intuito de diversificação ([RAM, 2018](#ref-ram2018)).

Onde: = É a média da variável X, = É a média da variável Y e E = Valor esperado.

O risco pode ser reduzido com a introdução de ativos negativamente correlacionados ao portfólio ([ABU BAKAR; ROSBI, 2019](#ref-abubakar2019)).

Para realizar a diversificação do portfólio tem por regra que os pesos de cada ativo sejam maiores ou iguais a zero e o somatório dos pesos dos ativos seja igual a 1 ([MARKOWITZ, 1952](#ref-markowitz1952)).

Onde: = São os pesos dos ativos.

Há uma regra que diz que para se diversificar o portfólio, deva investir nos ativos com maior retorno esperado ([MARKOWITZ, 1952](#ref-markowitz1952)).

Essa regra é incorreta, dado que os retornos dos títulos são Inter correlacionados e, portanto, não é possível eliminar a variância ([MARKOWITZ, 1952](#ref-markowitz1952)).

Há cinco premissas que permeiam sobre a teoria de Markowitz: o investidor considera as alternativas de investimento pela probabilidade do retorno esperado, a maximização da utilidade esperada e a sua curva marginal da riqueza decrescente, os riscos são estimados pela variabilidade do retorno esperado, a sua decisão é fundada na premissa de risco e retorno e por fim os investidores preferirão ativos com menos risco ao invés do mais arriscados e que também irão preferir maiores retornos ao invés de retornos menores ([ABU BAKAR; ROSBI, 2019](#ref-abubakar2019)).

No geral, a aplicação da moderna teoria de portfólio é mal compreendida. A diversificação não é garantia por um alto retorno comparado ao retorno mercado que se tem por referência, a proposta principal não é apenas manter uma cesta diversificada de ativos, mas também considerar a relação entre os ativos individuais da sua carteira ([OZDURAK; UMUT; OZAY, 2022](#ref-ozdurak2022)).

Ou seja, não é sobre o risco individual de cada ativo, e sim sobre como todos os demais se performam como um portfólio ([OZDURAK; UMUT; OZAY, 2022](#ref-ozdurak2022)).

Além disso aumenta a adoção mundial de criptomoedas junto com outras moedas estáveis, enquanto governos como china e índia proibiram o comercio. Dessa forma o risco maior é de curto prazo dado a falta de regulação e previsibilidade sobre esses novos ativos, além do mais as criptomoedas tem por sua característica o alto retorno e risco comparadas com ativos ([OZDURAK; UMUT; OZAY, 2022](#ref-ozdurak2022)).

O perfil de risco premia ao nível de risco assumido, isso pode ser medido ao utilizar a razão de Sharpe no qual demonstra os retornos por unidade de risco aceitado ([RAM, 2018](#ref-ram2018)).

Onde: sr = razão Sharpe, = retorno do portfólio, = taxa livre de risco e = desvio padrão

O retorno do portfólio é calculado através da soma ponderada de variáveis aleatórias, no qual o investidor tem a livre escolha de selecionar o peso para tal ativo ([MARKOWITZ, 1952](#ref-markowitz1952)).

Onde: = É o peso do ativo j, = Retorno esperado do ativo j

O índice de Sharpe é uma ferramenta que auxilia na comparação de performance entre ativos agrupados no portfólio, ao se calcular os retornos excessivos sobre a taxa livre de risco. quanto maior for a razão Sharpe, mais retornos excessivos sobre a taxa livre de risco. Tem como finalidade a possibilidade de fornecer a fronteira eficiente entre diferentes portfólios ([MA et al., 2020](#ref-ma2020)).

A fronteira eficiente pode ser compreendida como uma linha no qual possui os melhores retornos aos níveis de risco assumidos sobre um conjunto de combinações possíveis na composição do portfólio, para tal ela utiliza o índice Sharpe como parâmetro ([SILVA; SANTOS; SANFINS, 2019](#ref-silva2019)).

A fronteira eficiente é composta por dois pontos extremos: o ponto de menor variância e o ponto de maior retorno esperado ([MARKOWITZ, 1952](#ref-markowitz1952)).

É valido ressaltar que a regra do retorno esperado e a variância não irá sempre ser superior a um portfólio não diversificado, dado que é possível um título possa ter altos rendimentos com baixa variância em relação aos demais ([MARKOWITZ, 1952](#ref-markowitz1952)).

# 5. RESULTADOS

A relação de risco e retorno esperado entre os ativos da carteira é demonstrada na [Figura 1](#fig-RiscoxRetorno), o ativo de menor risco é BTC-USD com um desvio padrão de 3.59% e retorno esperado de 0.000888. Enquanto o ativo de maior retorno esperado é MATIC-USD com o desvio padrão de 7.56% e retorno esperado de 0.0041623.

|  |
| --- |
| Figura 1: Risco x Retorno |

Em seguida foi verificado a matriz de correlação dos ativos e verificado que os ativos são positivamente correlacionados, veja na [Tabela 1](#tbl-correlacao) e na [Figura 2](#fig-correlacao).

Tabela 1: Matriz de correlação

| ATIVO | BTC-USD | ETH-USD | BNB-USD | XRP-USD | ADA-USD | DOGE-USD | SOL-USD | MATIC-USD |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| BTC-USD | 1,000 | 0,810 | 0,662 | 0,575 | 0,648 | 0,442 | 0,479 | 0,598 |
| ETH-USD | 0,810 | 1,000 | 0,693 | 0,610 | 0,709 | 0,423 | 0,592 | 0,667 |
| BNB-USD | 0,662 | 0,693 | 1,000 | 0,551 | 0,607 | 0,318 | 0,532 | 0,634 |
| XRP-USD | 0,575 | 0,610 | 0,551 | 1,000 | 0,571 | 0,343 | 0,453 | 0,532 |
| ADA-USD | 0,648 | 0,709 | 0,607 | 0,571 | 1,000 | 0,402 | 0,505 | 0,632 |
| DOGE-USD | 0,442 | 0,423 | 0,318 | 0,343 | 0,402 | 1,000 | 0,274 | 0,312 |
| SOL-USD | 0,479 | 0,592 | 0,532 | 0,453 | 0,505 | 0,274 | 1,000 | 0,508 |
| MATIC-USD | 0,598 | 0,667 | 0,634 | 0,532 | 0,632 | 0,312 | 0,508 | 1,000 |

|  |
| --- |
| Figura 2: gráfico de correlação |

Ao realizar as combinações dos ativos possíveis foram encontradas as 5 melhores combinações com base no índice Sharpe, conforme demonstrado na [Tabela 2](#tbl-melhoresCombinacoes). O ponto de tangência do portfólio com a combinação de 60%, 40% dos ativos distribuídos em BNB-USD e MATIC-USD respectivamente, O índice Sharpe foi de 0.0561, desvio padrão de 5.78% e retorno esperado de 0.003493.

Já o ponto de menor variância do portfólio é composto por 100% alocado em BTC-USD com um índice Sharpe de 0.0177, desvio padrão de 3.59% e retorno esperado de 0.000888.

Tabela 2: top 5 melhores combinações com base na razão de Sharpe

| BTC-USD | ETH-USD | BNB-USD | XRP-USD | ADA-USD | DOGE-USD | SOL-USD | MATIC-USD | Indice Sharpe | Risco | Retorno esperado |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 0% | 0% | 60% | 0% | 0% | 0% | 0% | 40% | 0.0561 | 5.7764% | 0.0034930 |
| 0% | 0% | 50% | 0% | 0% | 0% | 0% | 50% | 0.0561 | 5.9884% | 0.0036114 |
| 0% | 0% | 50% | 0% | 0% | 10% | 0% | 40% | 0.0561 | 5.6857% | 0.0034412 |
| 0% | 10% | 50% | 0% | 0% | 0% | 0% | 40% | 0.0560 | 5.6772% | 0.0034331 |
| 0% | 0% | 40% | 0% | 0% | 10% | 0% | 50% | 0.0559 | 5.905% | 0.0035525 |

Ao realizar todas as 18.832 combinações de carteira possíveis, foi traçado o gráfico de otimização de portfólio e fronteira eficiente no qual foi destacado as siglas M.V que significa o ponto de menor variância e a sigla P.T que se refere ao ponto de tangência, veja na [Figura 3](#fig-fronteiraEficiente).

|  |
| --- |
| Figura 3: Otimização de portfólio & Fronteira eficiente |

Após otimizar o portfólio foi possível verificar a relação de risco e retorno entre o portfólio otimizado e o portfólio igualmente distribuído, no qual o portfólio igualmente distribuído apresenta um risco de 4.82% e retorno esperado de 0.0024679, enquanto no portfólio otimizado apresenta um risco de 5.78% e retorno esperado de 0.003493, veja na [Figura 4](#fig-RiscoxRetornoComparativo). Ou seja, o portfólio otimizado é 0.95% mais arriscado e 0.0010251 mais lucrativo que o portfólio igualmente distribuído.

|  |
| --- |
| Figura 4: Risco x Retorno Comparativo |

Por fim foi comparado os retornos diários do portfólio igualmente distribuído, veja na [Figura 5](#Xd325c52d4064fe3228b2f38322fc55056cd872f), contra os retornos diários do portfólio otimizado, veja na [Figura 6](#fig-retornoPortfolioOtimizado).

No qual confirma que o portfólio otimizado é mais arriscado com maiores retornos.

|  |
| --- |
| Figura 5: Retorno do portfólio igualmente distribuído |

|  |
| --- |
| Figura 6: Retorno do portfólio otimizado |

De tal forma é possível verificar que a aplicação da moderna teoria de portfólio no mercado de criptomoedas é válida, pois através da moderna teoria de portfólio foi possivel calcular diversas combinações de portfólio e encontrar a combinação que possuíse o melhor índice Sharpe.

# 6. CONCLUSÂO

Ao longo deste estudo foi abordado o conceito de criptomoeda, seu funcionamento, os riscos e os benefícios da sua utilização.

Foi exposto o conceito de moeda e porque as criptomoedas devam ser caracterizadas como um ativo financeiro tecnológico ao invés de uma moeda fiduciária.

Além disso foi exposto alguns riscos de golpes que envolvem criptomoedas e suas aplicações tanto no âmbito digital quanto no âmbito real.

Da mesma, foi exposto os benefícios advindos de tais tecnologias e investimentos, como por exemplo uma fonte de renda extra através da prática da mineração e levantamento de fundo de investimento para startups e pequenas empresas através de ICO.

Ao analisar sobre o ponto de vista econômico, a sua natureza especulativa com alta volatidade de preços que afasta principalmente as criptomoedas da função reserva de valor.

Também foi avaliado sob o ponto de vista jurídico e verificado a situação regulatória das criptomoedas no Brasil no qual é definido como um ativo financeiro.

Além do mais buscou compreender o conceito da moderna teoria de portfólio de Markowitz e sua aplicação no mercado de criptomoedas.

Foi analisado os resultados da moderna teoria de portfólio numa carteira composta exclusivamente de criptomoedas, no qual foi comparado um portfólio de criptomoedas igualmente distribuído com o portfólio otimizado. Os resultados foram positivos sobre a sua aplicação ao determinar o ponto de tangência, menor variância e traçar a fronteira eficiente do portfólio.

Ao realizar o estudo, foi encontrado a limitação temporal dos dados no qual a criptomoeda da Solana só há dados a partir de 11/04/2020, dessa forma para poder comparar o portfólio foram utilizadas somente os dados de 11/04/2020 em diante.

Outra limitação encontrada foi a memória computacional, no qual ao tentar verificar todas as combinações possíveis da carteira ao alterar em 0,05 da quantidade percentual alocado em determinados ativos, respeitado que o somatório de todos os ativos deva ser igual a 1, excedeu a memória limite disposta, para contornar tal problemática a variação em cada ativo passou pra 0,1.

A taxa livre de risco utilizada foi a taxa Selic diária média, no qual foi retirado uma média da taxa Selic anual de 01/01/2020 até 01/01/2023 que resultou em 6.56% e posteriormente convertido a taxa de juros diária que resultou em 0.03%.

foi possível aprender através do estudo a realização de cálculos de retorno do portfólio, índice Sharpe, curtose, distorções e gerar diversas combinações de carteiras a fim de encontrar a fronteira eficiente e ponto de tangência.

Também foi possível a compreensão do ponto de vista econômico quais características devem ser preenchidas pra que seja considerado uma moeda e da mesma forma do ponto de vista jurídico para tal assunto.

Destaca-se nesse estudo, o fato do Brasil ser uns dos poucos países a ter uma legislação própria sobre criptomoedas e a limitar as corretoras de criptomoedas que operam sobre o território nacional, no qual são sujeitas a fiscalização. É valido verificar se com a presença dessa nova legislação irá impactar positivamente na adesão da população para utilização das criptomoedas como um investimento de curto, médio e longo prazo.

Além disso como pontos de aprofundamento sobre o método empregado, seria interessante a alocação de um ou mais ativos negativamente correlacionado na carteira a fim de verificar a performance do portfólio.

Por fim vale a pena destacar que devido a sua natureza especulativa fosse interessante uma análise das finanças comportamentais.

Ao analisar os objetivos traçados na pesquisa foi possível obter os seguintes resultados em cada um deles:

objetivo geral satisfeito ao conseguir aplicar a metodologia de portfólio de Markowitz no mercado de criptomoedas.

Já nos objetivos específicos, que compreendiam: conceituar criptomoedas como ativos financeiro, diferenciar o mercado criptoativo do mercado de renda variável, analisar os impactos das regulações desse setor no Brasil e comparar o resultado da utilização do método contra uma seleção de portifólio igualmente distribuído.

O objetivo específico conceituar criptomoedas como ativos financeiros foi satisfeito ao realizar a revisão de literatura.

O objetivo específico diferenciar o mercado criptoativo do mercado de renda variável foi satisfeito ao verificar sobre os pontos regulatórios e tecnológicos que ambos diferem.

O objetivo específico analisar os impactos das regulações desse setor no Brasil foi satisfeito ao verificar que com a criação da lei 14.478/2022 ficou definido a classificação de criptomoeda, a equiparação das empresas prestadoras de serviços de criptomoedas com instituições financeiras e elas estariam sujeitas, ao conduzir operações relacionadas a aos ativos digitais, ao código de defesa do consumidor.

O objetivo específico comparar o resultado da utilização do método contra uma seleção de portifólio igualmente distribuído foi satisfeito ao resultar na melhora de performance do portfólio.

# 7. BIBLIOGRAFIA

ABU BAKAR, N.; ROSBI, S. [Robust Statistical Portfolio Investment in Modern Portfolio Theory: A Case Study of Two Stocks Combination in Kuala Lumpur Stock Exchange](https://doi.org/10.35940/ijeat.E1031.0585C19). v. 8, p. 214–221, 26 set. 2019.

ARAGON, M. CRIPTOMOEDA: UMA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO BITCOIN NA SOCIEDADE CONTEMPORÂNEA. p. 54, 2018.

ARZOVA, S. B.; ?ZDURAK, C. [Optimal Cryptocurrency and BIST 30 Portfolios with the Perspective of Markowitz Portfolio Theory](https://doi.org/10.12691/jfe-9-4-4). **Journal of Finance and Economics**, v. 9, n. 4, p. 146–154, 28 jul. 2021.

BARTOLETTI, M. et al. [Cryptocurrency Scams: Analysis and Perspectives](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3123894). **IEEE Access**, v. 9, p. 148353–148373, 2021.

BENEDETTI, H.; NIKBAKHT, E. [Returns and network growth of digital tokens after cross-listings](https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2020.101853). **Journal of Corporate Finance**, v. 66, p. 101853, fev. 2021.

BERNARDO, M. P.; NORI, R. B.; BERNARDELLI, L. V. [A História da Moeda: Uma proposta de união entre Teoria Econômica e Etnografia](https://doi.org/10.30800/mises.2019.v7.1113). **MISES: Interdisciplinary Journal of Philosophy, Law and Economics**, v. 7, n. 2, 19 ago. 2019.

**Bitcoin (BTC) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado**., [s.d.]. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/pt-br/currencies/bitcoin/>>

**BNB (BNB) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado**., [s.d.]. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/pt-br/currencies/bnb/>>

BREUNIG, L. H. [Bitcoin : ativo financeiro ou moeda digital?](http://repositorio.unisc.br:8080/jspui/handle/11624/3094) 2020.

**Cardano (ADA) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado**., [s.d.]. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/pt-br/currencies/cardano/>>

CASTELLO, M. G. [Bitcoin é moeda? Classificação das criptomoedas para o direito tributário](https://doi.org/10.1590/2317-6172201931). **Revista Direito GV**, v. 15, n. 3, p. e1931, 2019.

DD. **Portfolio Optimization in R :: Coding Finance** ., 31 mai. 2018. Disponível em: <<https://www.codingfinance.com/post/2018-05-31-portfolio-opt-in-r/>>

**Dogecoin (DOGE): o que é, valor hoje e como comprar | Coinext**., [s.d.]. Disponível em: <<https://coinext.com.br/criptomoedas/dogecoin>>

**Economista Harry Markowitz, criador da Teoria Moderna de Portfólio, morre aos 95 anos**., 25 jun. 2023. Disponível em: <<https://valor.globo.com/financas/noticia/2023/06/25/economista-harry-markowitz-criador-da-teoria-moderna-de-portflio-morre-aos-95-anos.ghtml>>

ESTELLITA, H. [Criptomoedas e lavagem de dinheiro](https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/revdireitogv/article/view/81696). **Revista Direito GV**, v. 16, n. 1, p. e1955–e1955, 8 jun. 2020.

**Ethereum (ETH) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado | CoinMarketCap**., [s.d.]. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/pt-br/currencies/ethereum/>>

FONTGALLAND, I. L.; MENEZES, L. T. R. C. M. DE; FÉLIX, A. C. T. [Criptomoeda e o sistema financeiro nacional: discutindo o debate brasileiro](https://doi.org/10.52076/eacad-v4i1.425). **E-Acadêmica**, v. 4, n. 1, p. e1541425, fev. 2023.

FREITAS, W. [**rbcb: R Interface to Brazilian Central Bank Web Services**](https://CRAN.R-project.org/package=rbcb). [s.l: s.n.].

FRY, J.; IBILOYE, O. [Towards a taxonomy for crypto assets](https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2207266). **Cogent Economics & Finance**, v. 11, n. 1, p. 2207266, 2023.

JUNIOR, P. G. B.; ASRILHANT, B. [Análise do Mercado de Criptomoedas Sob o Enfoque da Matriz Swot / Analysis of the Crypto Currency Market Under the Swot Matrix Perspective](https://doi.org/10.12819/2021.18.11.3). **Revista FSA (Centro Universitário Santo Agostinho)**, v. 18, n. 10, p. 44–67, 23 nov. 2021.

KERR, D. S. et al. [Cryptocurrency Risks, Fraud Cases, and Financial Performance](https://doi.org/10.3390/risks11030051). **Risks**, v. 11, n. 3, 2023.

KLIBER, A. et al. [Bitcoin: Safe haven, hedge or diversifier? Perception of bitcoin in the context of a country’s economic situation A stochastic volatility approach](https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.145). **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 524, p. 246–257, jun. 2019.

KOLB, J. et al. [Core Concepts, Challenges, and Future Directions in Blockchain: A Centralized Tutorial](https://doi.org/10.1145/3366370). **ACM Computing Surveys**, v. 53, n. 1, p. 1–39, 31 jan. 2021.

MA, Y. et al. [Portfolio optimization in the era of digital financialization using cryptocurrencies](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120265). **Technological Forecasting and Social Change**, v. 161, p. 120265, dez. 2020.

MARKOWITZ, H. [Portfolio Selection](https://doi.org/10.2307/2975974). **The Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77, mar. 1952.

MATTOS, O. B.; ABOUCHEDID, S.; SILVA, L. A. E. [As criptomoedas e os novos desafios ao sistema monetário: uma abordagem pós-keynesiana](https://doi.org/10.1590/1982-3533.2020v29n3art04). **Economia e Sociedade**, v. 29, p. 761–778, 14 dez. 2020.

**Mermaid | Diagramming and charting tool**., [s.d.]. Disponível em: <<https://mermaid.js.org/>>

MORAIS, F. L. DE; FALCÃO, R. M. A. [A regulação de criptomoedas como instrumento de prevenção à lavagem de dinheiro](https://revista.cgu.gov.br/Cadernos_CGU/article/view/607). **Cadernos Técnicos da CGU**, v. 3, 29 nov. 2022.

NETO, I. B. **O MARCO LEGAL DOS CRIPTOATIVOS NO BRASIL E A SEGURANÇA JURÍDICA DOS CONSUMIDORES. UMA VISÃO À LUZ DO DIPLOMA CONSUMERISTA SOB O VIÉS DA PROTEÇÃO ECONÔMICA DAS OPERAÇÕES COM ATIVOS DIGITAIS. ISSN 1678-0817 Qualis B2**., 23 mai. 2023. Disponível em: <<https://revistaft.com.br/o-marco-legal-dos-criptoativos-no-brasil-e-a-seguranca-juridica-dos-consumidores-uma-visao-a-luz-do-diploma-consumerista-sob-o-vies-da-protecao-economica-das-operacoes-com-ativos-digitais/>>

NEUWIRTH, E. [**RColorBrewer: ColorBrewer Palettes**](https://CRAN.R-project.org/package=RColorBrewer). [s.l: s.n.].

OZDURAK, C.; UMUT, A.; OZAY, T. [The Interaction of Major Crypto-assets, Clean Energy, and Technology Indices in Diversified Portfolios](https://doi.org/10.32479/ijeep.12888). **International Journal of Energy Economics and Policy**, v. 12, n. 2, p. 480–490, 20 mar. 2022.

PETERSON, B. G.; CARL, P. [**PerformanceAnalytics: Econometric Tools for Performance and Risk Analysis**](https://CRAN.R-project.org/package=PerformanceAnalytics). [s.l: s.n.].

**Polygon - Products, Competitors, Financials, Employees, Headquarters Locations**., [s.d.]. Disponível em: <<https://www.cbinsights.com/company/matic-network>>

**Preços, Gráficos e Capitalização de Mercado das Criptomoedas**., [s.d.]. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/pt-br/>>

RAM, A. J. [Bitcoin as a new asset class](https://doi.org/10.1108/MEDAR-11-2017-0241). **Meditari Accountancy Research**, v. 27, n. 1, p. 147–168, 1 jan. 2018.

RAMALHO, M. ANÁLISE DE RISCO E RENTABILIDADE DE UMA CARTEIRA DE FUNDOS DE INVESTIMENTO IMOBILIÁRIO. **ANÁLISE DE RISCO E RENTABILIDADE DE UMA CARTEIRA DE FUNDOS DE INVESTIMENTO IMOBILIÁRIO**, p. 33, 14 dez. 2020.

REGENSTEIN, J. K. [**Reproducible Finance with R: Code Flows and Shiny Apps for Portfolio Analysis**](https://books.google.com.br/books?id=M2FwDwAAQBAJ). [s.l.] CRC Press, 2018.

RESEARCH, S. **Markowitz: Conheça o criador da teoria moderna do portfólio**., [s.d.]. Disponível em: <<https://www.suno.com.br/tudo-sobre/harry-markowitz/>>

RYAN, J. A.; ULRICH, J. M. [**quantmod: Quantitative Financial Modelling Framework**](https://CRAN.R-project.org/package=quantmod). [s.l: s.n.].

SCHAUBERGER, P.; WALKER, A. [**openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files**](https://CRAN.R-project.org/package=openxlsx). [s.l: s.n.].

SCHELLINGER, B. [Optimization of special cryptocurrency portfolios](https://doi.org/10.1108/JRF-11-2019-0221). **The Journal of Risk Finance**, v. 21, n. 2, p. 127–157, 1 jan. 2020.

SHIRAKAWA, J. B. R.; KORWATANASAKUL, U. Cryptocurrency Regulations: Institutions and Financial Openness. 2019.

SILVA, T. E. B. DE C.; SANTOS, D. R. DO; SANFINS, M. A. DO S. [Modelo de markowitz na otimização de carteiras de investimentos usando o software r / Markowitz model in investment portfolio optimization using the r software](https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-205). **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 3100531018, dez. 2019.

SILVEIRA, R. DE M. J. [“Criptocrime”: considerações penais econômicas sobre criptomoedas e criptoativos = “Cryptocrime”: criminal economic considerations about bitcoins and cryptoactive](https://bdjur.stj.jus.br/jspui/handle/2011/141992). v. 1, n. 1, p. 79–100, 2020.

**Solana (SOL) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado**., [s.d.]. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/pt-br/currencies/solana/>>

**The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1990**., [s.d.]. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/1990/markowitz/biographical/>>

TROZZE, A. et al. [Cryptocurrencies and future financial crime](https://doi.org/10.1186/s40163-021-00163-8). **Crime Science**, v. 11, n. 1, p. 1, 2022.

WEI, T.; SIMKO, V. [**R package ’corrplot’: Visualization of a Correlation Matrix**](https://github.com/taiyun/corrplot). [s.l: s.n.].

WHITE, R. et al. [Is Bitcoin a currency, a technology-based product, or something else?](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119877) **Technological Forecasting and Social Change**, v. 151, p. 119877, 1 fev. 2020.

WICKHAM, H. et al. [Welcome to the tidyverse](https://doi.org/10.21105/joss.01686). **Journal of Open Source Software**, v. 4, n. 43, p. 1686, 2019.

WICKHAM, H.; SEIDEL, D. [**scales: Scale Functions for Visualization**](https://CRAN.R-project.org/package=scales). [s.l: s.n.].

XIE, Y. knitr: A Comprehensive Tool for Reproducible Research in R. Em: STODDEN, V.; LEISCH, F.; PENG, R. D. (Eds.). [s.l.] Chapman; Hall/CRC, 2014.

**XRP (XRP) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado**., [s.d.]. Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/pt-br/currencies/xrp/>>

XU, W. et al. [Prediction of initial coin offering success based on team knowledge and expert evaluation](https://doi.org/10.1016/j.dss.2021.113574). **Decision Support Systems**, v. 147, p. 113574, ago. 2021.