COIMBRA BUSINESS SCHOOL

iscac Politécnico de Coimbra 100 ANOS

COIMBRA BUSINESS SCHOOL iscac Politécnico de Coimbra 100 ANOS since 1921

O impacto da Covid-19 na volatilidade da criptomoeda: uma análise comparativa através de modelos GARCH

Inês Susana Ferreira Soares

ISCAC | 2023

COIMBRA BUSINESS SCHOOL

iscac Politécnico de Coimbra 100 ANOS

Inês Susana Ferreira Soares

O impacto da Covid-19 na volatilidade da criptomoeda: uma análise comparativa através de modelos GARCH

Coimbra, abril de 2023

Inês Susana Ferreira Soares

O impacto da Covid-19 na volatilidade da criptomoeda: uma análise comparativa através de modelos GARCH

Dissertação submetida ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Análise Financeira**, realizada sob a orientação da Professora Doutora Ana Paula Quelhas.

Coimbra, abril de 2023

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Declaro ser a autora desta dissertação, que constitui um trabalho original e inédito, que nunca foi submetido a outra Instituição de ensino superior para obtenção de um grau académico ou outra habilitação. Atesto ainda que todas as citações estão devidamente identificadas e que tenho consciência de que o plágio constitui uma grave falta de ética, que poderá resultar na anulação da presente dissertação.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

RESUMO

Na última década, a criptomoeda tornou-se um novo fenómeno de investimento nos mercados financeiros enquanto solução para os investidores colmatarem as incertezas de mercado, nomeadamente durante a pandemia da Covid-19. Esta crise de saúde afetou significativamente o desenvolvimento económico sustentado, obrigando a que entidades governamentais e empresas adotassem medidas de contenção e se adaptassem a uma nova realidade de distanciamento social e teletrabalho.

Esta dissertação investiga a volatilidade da criptomoeda durante a pandemia da Covid-19, num período compreendido entre 1 de dezembro de 2019 e 1 de dezembro de 2021. São analisadas as quatro criptomoedas que, no período referido, apresentaram maior popularidade e capitalização de mercado: Bitcoin, Ethereum, Tether e Binance Coin. Em termos metodológicos, recorreu-se a três modelos GARCH para uma distribuição não normal, nomeadamente o GARCH normal, o GARCH *t-student* e o GARCH GED.

Os resultados mostraram persistência de volatilidade por períodos prolongados para o Ethereum e Binance. A volatilidade da Bitcoin apresentou persistência no curto prazo e comportamento de manada, além disso, os choques na volatilidade não se verificaram por períodos prolongados. O Tether exibiu um nível relativamente estável de volatilidade durante a pandemia, com picos ocasionais de volatilidade causados por eventos extremos. Estes resultados auxiliam a perceção dos agentes de mercado relativamente à gestão de risco associada ao investimento em criptomoeda durante períodos de maior volatilidade de mercado, particularmente durante crises como a pandemia da Covid-19.

Palavras-chave: Criptomoeda, Volatilidade, Covid-19, GARCH

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

ABSTRACT

In the last decade, cryptocurrency has become a new investment phenomenon in financial markets as a solution for investors to overcome market uncertainties, particularly during the COVID-19 pandemic. This health crisis significantly affected sustained economic development, forcing government authorities and companies to implement safety measures and adapt to a new reality of social distancing and remote working.

This dissertation investigates the volatility of cryptocurrencies during the COVID-19 pandemic, in a period between December 1st, 2019 and December 1st, 2021. This dissertation focuses on the analysis of four cryptocurrencies: Bitcoin, Ethereum, Tether, and Binance Coin. They were chosen due to their significant popularity and market capitalization. In terms of methodology, three GARCH models were used for a non-normal distribution, namely GARCH normal, GARCH t-student and GARCH GED.

The findings show volatility persistence for long periods of time for Ethereum and Binance. Bitcoin exhibited short-term volatility persistence along with herding behavior, furthermore, volatility shocks weren't sustained for long periods. Tether demonstrated a relatively stable level of volatility during the pandemic, punctuated by occasional clusters of volatility brought about by extreme events. These results have implications for market participants, particularly in relation to risk management associated with cryptocurrency investment, particularly in times of crisis, such as the COVID-19 pandemic.

Keywords: Cryptocurrency, Volatility, COVID-19, GARCH

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO 1

1 REVISÃO DE LITERATURA 8

1.1 Assimetria de volatilidade 10

1.2 Ativo de refúgio de investimento 10

1.3 Relação entre mercados 13

1.4 Transmissão de volatilidade 14

1.5 Determinantes de volatilidade 15

1.6 Criminalidade relacionada com a criptomoeda 16

1.7 A criptomoeda em Portugal 17

2 DADOS E METODOLOGIA 20

2.1 Variável dependente - Criptomoeda 20

2.2 Variáveis independentes - Índices, ouro e taxa de câmbio 22

2.3 Metodologia 22

2.3.1 Retornos 22

2.3.2 Teste de normalidade Jarque-Bera 22

2.3.3 Estacionariedade 23

2.3.4 Heteroscedasticidade 24

2.3.5 ARCH 25

2.3.6 GARCH 25

3 RESULTADOS EMPÍRICOS 30

3.1 Bitcoin 40

3.2 Ethereum 42

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

3.3 Tether 43

3.4 Binance Coin 44

3.5 Índices, ouro e taxa de câmbio 48

3.5.1 S&P 500 48

3.5.2 Dow Jones 49

3.5.3 Euronext 50

3.5.4 Ouro 51

3.5.5 Taxa de câmbio USD/EUR 52

CONCLUSÃO 55

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 58

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Cronologia dos principais eventos relacionados com a Covid-19 e criptomoeda 4

Tabela 2: Descrição das criptomoedas em análise 21

Tabela 3: Estatísticas de sumário – Criptomoedas 34

Tabela 4: Estatísticas de sumário - Índices, ouro e taxa de câmbio 36

Tabela 5: Testes de estacionariedade - Criptomoedas 37

Tabela 6: Testes de estacionariedade - Índices, ouro e taxa de câmbio 37

Tabela 7: Testes de heteroscedasticidade e ARCH - Criptomoedas 38

Tabela 8: Matriz de correlação 39

Tabela 9: Teste de colinearidade 40

Tabela 10: Resultados dos modelos GARCH – Bitcoin 40

Tabela 11: Resultados dos modelos GARCH - Ethereum 42

Tabela 12: Resultados dos modelos GARCH – Tether 43

Tabela 13: Resultados dos modelos GARCH – Binance Coin 45

Tabela 14: Resultados dos modelos GARCH – S&P 500 48

Tabela 15: Resultados dos modelos GARCH – Dow Jones 49

Tabela 16: Resultados dos modelos GARCH – Euronext 50

Tabela 17: Resultados dos modelos GARCH – Ouro 51

Tabela 18: Resultados dos modelos GARCH – Taxa de câmbio USD/EUR 52

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Retornos diários da Bitcoin 30

Figura 2: Retornos diários do Ethereum 30

Figura 3: Retornos diários do Tether 31

Figura 4: Retornos diários da Binance Coin 31

Figura 5: Retornos diários do S&P 500 32

Figura 6: Retornos diários do Dow Jones 32

Figura 7: Retornos diários da Euronext 33

Figura 8: Retornos diários do ouro 33

Figura 9: Retornos diários da taxa de câmbio USD/EUR 34

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Lista de abreviaturas, acrónimos e siglas

ARCH	Modelo de Heteroscedasticidade Condicional Autorregressiva
BNB	Binance Coin
BTC	Bitcoin
DJIA	Dow Jones Industrial Average
ERNXY	Euronext N.V.
ETH	Ethereum
EUA	Estados Unidos da América
GARCH	Modelo de Heteroscedasticidade Condicional Autorregressiva Generalizada
GCF23	Contratos de futuros de ouro que expiraram em janeiro de 2023 (data de extração de dados)
GED	Generalized Error Distribution
GSPC	Standard and Poor's 500 (S&P 500)
NFT	Non-Fungible Token
OMS	Organização Mundial de Saúde
RMSE	Root Mean Squared Error
USD/EUR	Taxa de câmbio entre o dólar americano e o euro
USDT	Tether
VIF	Fator de Inflação da Variância

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

INTRODUÇÃO

Ao longo da última década, a criptomoeda tem sido alvo de bastante atenção e popularidade devido ao seu aspeto inovador e simplicidade de uso. A criptomoeda foi concebida atendendo a alguns fatores, tais como a intenção de criar uma alternativa descentralizada aos tradicionais sistemas financeiros centralizados – controlados por entidades governamentais e financeiras – e a necessidade de existência de uma moeda digital que não fosse facilmente manipulada ou falsificada. As criptomoedas usam a tecnologia *blockchain*, a qual permite a realização de transações seguras e transparentes, sem a necessidade de intermediários financeiros. A integridade e a segurança das transações é garantida através do uso de algoritmos criptográficos complexos. A necessidade de privacidade e anonimato das transações financeiras foi outro dos fatores que pesou na criação da Bitcoin. Com efeito, as criptomoedas permitem que os utilizadores executem as suas transações de forma anónima e sem a necessidade de informações pessoais, tornando-as atrativas para os indivíduos e as organizações que valorizam privacidade e segurança.

A criptomoeda teve o seu início em 2009 com a publicação do *paper* de Satoshi Nakamoto, em que é lançada a Bitcoin e descrito um sistema descentralizado de transações cuja negociação não necessita de intermediação de instituições financeiras (Nakamoto, 2008).

A garantia de funcionamento desta rede *peer-to-peer* é assegurada por *miners*, que estão encarregues de validar as transações na *blockchain*. Cada *peer* regista o histórico de uma transação, assim que a transação é concluída será transmitida a todos os *peers* da rede. Uma vez confirmado o seu registo, não poderá ser apagado do histórico de transações da *blockchain*. São os *miners* que confirmam as transações, sendo que o processo se inicia com a recolha de uma entrada de transação na *blockchain*. De seguida vários *miners* tentam resolver uma função matemática que permite converter um *input* de dados digitais para um *output* de transação válida de dados íntegros. Assim que o problema matemático é resolvido, o *miner* cria um bloco para a transação e esta é transmitida para a rede *peer-to-peer*. Após a sua validação, a transação será ainda

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

testada por outros *miners* e se este teste apresentar o *output* correto, o bloco será registado como válido. Os *miners* são retribuídos em Bitcoins por cada bloco correto que seja gerado, esta recompensa foi inicialmente estabelecida em 50 Bitcoins na data da sua criação. Atualmente, cada *miner* recebe 6,25 Bitcoins, sendo que esta recompensa é reduzida para metade a cada quatro anos. Isto foi estipulado no artigo de Nakamoto, como parte do protocolo incorporado à rede Bitcoin. O processo é denominado *halving* e é um mecanismo que regula a velocidade com que novas Bitcoins são criadas e postas em circulação. O objetivo do *halving* é assegurar que o número de Bitcoins em circulação seja constante e previsível. Sendo assim, a circulação total foi limitada a 21 milhões de Bitcoins e o mecanismo de *halving* garante que a quantidade diminua ao longo do tempo até atingir zero.

Existem dois tipos de criptomoedas: as *coins* (onde se inclui a Bitcoin, *stablecoins* e *altcoins*) e os *tokens* (por exemplo, o Ethereum e a Binance Coin). As *coins* são resultantes da criação de uma *blockchain* e podem ser utilizadas como meio de pagamento. Enquanto isso, os *tokens* representam um criptoativo que foi criado e se encontra alojado numa *blockchain* ou plataforma já existente.

Os *tokens* são criados por via de uma *initial coin offering* (ICO) e podem assumir várias formas:

- *payment tokens* (permitem o pagamento de bens e serviços);
- *security tokens* (direitos de ativos financeiros);
- *utility tokens* (direitos e permissões de uso de produtos ou serviços).

Em abril de 2013, existiam apenas 7 criptomoedas no mercado. Atualmente, existem ativamente em circulação mais de 9 mil criptomoedas. A criptomoeda que presentemente domina o mercado, tanto em termos de valores negociados como de popularidade, é a Bitcoin. O seu crescimento efetivo começou em 2013 e em março de 2021 já havia mais de 18,6 milhões de Bitcoins em circulação, com um valor total de mercado de cerca de 927 biliões de dólares. Esta criptomoeda não tem nenhum valor intrínseco e é independente de qualquer governo ou autoridade monetária. É um ativo altamente líquido com baixos custos de transação e é um meio de envio rápido de pagamentos através de

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

plataformas digitais. A popularidade desta moeda conduziu a que fossem criadas criptomoedas alternativas, denominadas como *altcoins* – por exemplo, Litecoin, Peercoin, Dogecoin, Namecoin, – embora nenhuma delas tenha ainda conseguido sobrepor-se à posição dominante de mercado da Bitcoin. A maioria destas moedas alternativas usa a mesma tecnologia *blockchain*, tendo sido criadas de modo a corrigir ou complementar algumas características da Bitcoin. As *altcoins* resolveram limitações como escalabilidade, rapidez de transação e centralização de *mining*. Por exemplo, a Litecoin foi projetada para processar transações de forma mais rápida e eficiente do que a Bitcoin. A Litecoin usa um algoritmo que permite criar blocos rapidamente e oferece taxas de transação mais baixas. O Ripple foi criado para corrigir a característica de transação lenta da Bitcoin, recorrendo a um algoritmo que permite transações mais rápidas e baratas.

A criação da criptomoeda revolucionou a forma de lidar com as transações financeiras, implicando um novo sistema descentralizado e seguro, ao mesmo tempo que acarretou novas oportunidades de inovação e investimento na economia digital.

A pandemia da Covid-19 adicionou maior complexidade ao debate em torno das particularidades das criptomoedas. O surto iniciou-se em dezembro de 2019, na China, tendo sido classificado como pandemia em março de 2020. Infetou mais de 505 milhões de pessoas e provocou 6,2 milhões de óbitos à escala mundial. Foram implementadas várias medidas numa tentativa de prevenir o contágio, tais como o distanciamento social, uso de máscara, fecho de escolas, implementação de teletrabalho, cancelamento de voos e restrições de entrada na maioria dos países. Toda a incerteza provocada pelo surto produziu um efeito negativo nos mercados financeiros e fez com que a volatilidade atingisse níveis elevados (Sharif *et al.*, 2020). A pandemia é o primeiro choque económico originado por uma crise de saúde pública global desde a criação da primeira criptomoeda em 2009, razão pela qual se revela pertinente investigar a volatilidade deste ativo financeiro durante o período em questão.

Em condições normais de mercado, os investidores tendem a tomar decisões racionais e bem informadas. Contudo, o período de pandemia implicou que os mercados financeiros

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

fossem inundados de comportamentos exagerados e decisões irracionais. O mercado de criptomoedas, por si só, é intrinsecamente arriscado e imaturo. Uma vez que a sua regulamentação é escassa, caracteriza-se por ser altamente especulativo, o que é amplificado pelo facto dos seus investidores preferirem o anonimato (Naeem *et al.*, 2021).

Na tabela 1 encontram-se descritos cronologicamente os eventos mais relevantes relacionados com a pandemia e a criptomoeda que permitem justificar os *clusters* de volatilidade observados durante o período em análise.

Tabela 1: Cronologia dos principais eventos relacionados com a Covid-19 e criptomoeda

Data	Acontecimento
dezembro de 2019	São relatados à OMS por parte da Comissão Municipal de Saúde de Wuhan, um conjunto de casos de pneumonia em Wuhan na China, que ocorreram entre 12 e 29 de dezembro.
janeiro de 2020	A China compartilhou publicamente a sequência genética da Covid-19. As autoridades confirmaram o primeiro caso registado fora da China, um indivíduo chinês que viajou para a Tailândia vindo de Wuhan. As autoridades chinesas decretaram quarentena na cidade de Wuhan. Foram registados mais de 570 casos em Taiwan, Japão, Tailândia, Coreia do Sul e EUA. A OMS declarou o surto de coronavírus uma emergência de saúde pública de âmbito internacional.
fevereiro de 2020	A OMS deu o nome Covid-19 à doença causada pelo vírus. O governo chinês fechou quintas de *mining* de Bitcoin de modo a controlar o aumento de casos de covid -19 no país.
março de 2020	A OMS declarou que a Covid-19 é uma pandemia.
abril de 2020	As autoridades governamentais norte-americanas recomendaram à população o uso de máscaras. A China reabriu Wuhan após quarentena de 76 dias. O presidente dos EUA suspendeu o financiamento da OMS enquanto foi conduzida uma revisão para avaliar a gestão de divulgação e cobertura de informação sobre a pandemia. Os lucros dos *miners* da criptomoeda Bitcoin Cash caíram para zero devido aos retornos da moeda terem sofrido uma redução para metade.
maio de 2020	É aprovada nos EUA a utilização de Remdesivir, o primeiro medicamento autorizado para o tratamento de doentes graves infetados com o vírus. O investidor Paul Tudor Jones comprou Bitcoin de maneira a impedir a inflação, permitindo a proteção de vários bancos centrais mundiais que imprimiram dinheiro para aliviar as economias afetadas pela Covid-19.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

junho de 2020	A primeira-ministra da Nova Zelândia suspendeu quase todas as restrições após o país não relatar novos casos ativos.
julho de 2020	Os EUA anunciaram a sua saída formal da OMS, em vigor a partir de 6 de julho de 2021. O presidente do Brasil testou positivo para a Covid-19. São "hackeadas" 130 contas de Twitter de figuras públicas e empresas em que são publicadas mensagens para promover um esquema de roubo de Bitcoin.
agosto de 2020	A Rússia iniciou a produção da vacina Sputnik-V.
setembro de 2020	Foi lançado um novo *hard fork* da Bitcoin, a Bitcoin Unlimited.
outubro de 2020	O presidente e a primeira-dama dos EUA testaram positivo para a Covid-19. A empresa financeira PayPal permitiu aos seus utilizadores nos EUA a compra, detenção ou venda de Bitcoin através da sua plataforma.
novembro de 2020 PLUS TOKEN	As autoridades chinesas apreenderam criptomoedas no valor de mais de 4,2 biliões de dólares da plataforma PlusToken, um esquema em pirâmide que prometia investimentos de elevado retorno.
dezembro de 2020	As primeiras doses da vacina Pfizer foram entregues nos EUA e Porto Rico. Foi autorizado a administração da vacina fabricada pela empresa Moderna em pessoas acima de 18 anos. Casos da variante Alpha detetados no Reino Unido.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

janeiro de 2021	O presidente dos EUA reverteu a decisão do seu antecessor, relativa à saída dos EUA da OMS. Foram registados primeiros casos da variante Gamma nos EUA e Brasil. O valor da Bitcoin subiu 20% após Elon Musk, CEO da Tesla, adicionar a *hashtag* "#Bitcoin" à sua conta Twitter.
fevereiro de 2021	Foi autorizado o uso da primeira vacina de dose única contra a Covid-19, fabricada pela Johnson & Johnson. A empresa Visa Inc. previu o lançamento no final do ano de serviços de compra e negociação de criptomoedas através de um *software* de criptografia Visa, dando o auxílio a bancos que o implementassem. A Tesla adquiriu 1,5 biliões de dólares em Bitcoin. A Mastercard anunciou que ainda durante 2021 iria permitir a utilização de criptomoeda na sua rede. O governo indiano iniciou o processo de proibição de investimento em criptomoeda no país, tendo sido concedido um período de transição de 3 a 6 meses para a liquidação dos investimentos existentes.
abril de 2021	O total de mortes por Covid-19 ultrapassou 3 milhões.
maio de 2021	A Tesla deixou de aceitar pagamentos em Bitcoin devido a preocupações com o impacto ambiental.
junho de 2021	Os primeiros casos da variante Delta foram detetados na Índia.
agosto de 2021	Aumentaram exponencialmente os casos da variante Delta. Reforço de vacinação começou a ser aconselhado.

Fonte: Adaptado de Corbet *et al.* (2020) e elaboração própria

O tema em estudo surgiu na sequência do crescimento relevante da criptomoeda e toda a especulação ao longo da última década e pela influência atual em termos de investimento. Além disto, a pandemia da Covid-19 veio criar uma grande instabilidade em termos financeiros que provocou uma recessão da economia mundial. Tal como acontece nos mercados convencionais, o preço da criptomoeda é também determinado pela oferta e procura. No entanto, estes ativos são considerados extremamente voláteis comparativamente com outros ativos financeiros. Esta dissertação tem como objetivo o

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

estudo da volatilidade da criptomoeda durante o período de pandemia, através de um processo de memória longa de séries temporais.

A presente dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma: no capítulo 1 é apresentada uma revisão da literatura existente. O capítulo 2 descreve os dados e a metodologia utilizada na pesquisa, o que inclui uma descrição das variáveis dependentes (criptomoedas) e variáveis independentes (índices, ouro e taxa de câmbio), bem como testes estatísticos (testes de normalidade, estacionariedade, heteroscedasticidade) e os modelos GARCH. O capítulo 3 apresenta os resultados empíricos do estudo em que é realizada uma análise sobre os resultados de cada uma das variáveis estudadas e relacionando-os com a literatura existente. As variáveis independentes são também analisadas e é feita uma comparação com os resultados das criptomoedas, de forma a proporcionar um entendimento abrangente da relação entre criptomoedas e mercados financeiros tradicionais. Finalmente, a dissertação conclui com um resumo dos principais resultados e são mencionadas as limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

1 REVISÃO DE LITERATURA

A quarta revolução industrial baseia-se nos avanços realizados durante as três revoluções industriais anteriores, que introduziram a máquina a vapor, a eletricidade e os computadores. Este processo é símbolo da época atual de mudança tecnológica, caracterizada pela agregação de novas tecnologias que esbatem as fronteiras entre físico, digital e biológico (Schwab, 2016). Tais acontecimentos determinaram que surgissem tecnologias como inteligência artificial, *Internet of Things*, robótica, impressão 3D, nanotecnologia e biotecnologia, os quais transpuseram para o setor financeiro mudanças significativas, possibilitando os avanços da criptografia e computação. O desenvolvimento de criptografia em transações eletrónicas remonta à década de 1970. Com efeito, a criptografia de chave pública permitiu a troca segura de informações digitais, sem a necessidade de uma chave secreta compartilhada entre o remetente e o destinatário (Diffie & Hellman, 1976). A introdução da criptografia viabilizou a introdução do conceito de moeda digital descentralizada e da tecnologia *blockchain*, na sequência da publicação do *whitepaper* da Bitcoin, em 2008. Além disto, a quarta revolução industrial permitiu a adoção generalizada de criptomoedas, ao fornecer a infraestrutura tecnológica necessária para o seu desenvolvimento e utilização, e contribuiu para o crescimento da economia digital, no sentido em que, cada vez mais, as empresas escolhem negociar em plataformas digitais os seus produtos e serviços. Desta sorte, a escolha da criptomoeda como meio de pagamento surge para solucionar a ausência de um sistema de pagamento digital seguro.

Tal como na quarta revolução industrial, também a pandemia acelerou a transformação digital e a inovação em vários setores, tendo o mercado de criptomoedas e a sua adoção como meio de pagamento registado um crescimento significativo durante este período. Esta tendência teve o seu início com a crise financeira de 2008, que destacou a necessidade de um sistema financeiro descentralizado e seguro. Além disso, a pandemia também acelerou a utilização de moedas digitais por parte de instituições financeiras tradicionais, como foi o caso do Banco JPMorgan que desenvolveu a sua própria criptomoeda, a JPM Coin, idealizada para facilitar transações mais rápidas. Este tipo de criptomoedas são denominadas como moedas digitais de banco central (Central Bank

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Digital Currency) e são versões digitais da moeda fiduciária de um país que são emitidas e apoiadas pelo banco central desse país. Estas moedas são centralizadas e operam dentro de uma estrutura regulamentada, ou seja, a emissão e circulação é controlada pelo banco.

Tanto a crise do *subprime* como a pandemia tiveram um impacto significativo nos mercados financeiros e, em particular, no mercado de criptomoedas, tornando estes ativos numa potencial classe alternativa de investimento. A volatilidade da criptomoeda durante períodos de incerteza de mercado pode ser explicada por diversos fatores, como a falta de regulamentação e supervisão no mercado de criptomoedas, o que as torna suscetíveis à especulação e manipulação, uma vez que são ativos considerados como novidade e em crescimento. A volatilidade é também influenciada pelo facto da criptomoeda poder ser um ativo de refúgio de investimento. Na verdade, a literatura existente indica que alguns investidores consideram as criptomoedas como uma proteção contra a inflação e períodos de incerteza económica. Outros consideram-nas como um investimento especulativo, devido ao comportamento de grandes oscilações do mercado. Como teremos ocasião de observar adiante, outro aspeto importante é a assimetria da volatilidade, a qual se consubstancia na ideia de que os investidores tendem a reagir mais rapidamente a notícias negativas do que a notícias positivas, o que leva a uma maior flutuação de preços em períodos de incerteza de mercado. A relação entre diferentes mercados financeiros também toma preponderância na volatilidade, especialmente a relação entre o mercado de criptomoedas e os mercados financeiros tradicionais. Alguns estudos encontraram evidências de efeitos de transmissão de volatilidade, em que os choques num mercado podem levar ao aumento da volatilidade noutro mercado, o que sugere que o mercado de criptomoedas não é totalmente dependente dos mercados tradicionais e pode ser influenciado por tendências de mercado mais amplas. Alguns determinantes de volatilidade apontados como relevantes para a volatilidade da criptomoeda incluem mudanças regulatórias, cobertura mediática, volume de negociação e liquidez de mercado.

Nesta revisão de literatura, será ainda observada a utilização de criptomoeda para atividades ilícitas, como lavagem de dinheiro e evasão fiscal. Embora o anonimato das

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

transações no mercado de criptomoedas possa ser visto como um benefício por motivos de privacidade, também pode dificultar a deteção e prevenção de atividades ilegais.

1.1 Assimetria de volatilidade

O comportamento de assimetria no mercado de criptomoedas pode tornar-se importante para avaliar o potencial de diversificação de portfólio e avaliação de risco. De modo geral, é possível perceber pela literatura existente que o medo gerado nos mercados aquando da pandemia e o risco de mercado aumentaram a volatilidade dos retornos das criptomoedas em comparação com o observado em períodos anteriores (Salisu & Ogbonna, 2021). Acresce que existe evidência na literatura de que boas notícias tiveram mais impacto na volatilidade do que más notícias (Cheikh *et al.*, 2019). Más notícias levaram a que muitos investidores vendessem as suas posições e transferissem o seu investimento em criptomoeda para as moedas fiduciárias tradicionais como euro, libra ou iuanes (Umar *et al.*, 2021). Tal facto é também confirmado por Nitithumbundit e Chan (2022), uma vez que o processo de decisão de um investidor é afetado negativamente por período de incerteza e volatilidade, sendo que após as primeiras notícias sobre o surto, os investidores em criptomoeda mudaram a sua estratégia para investimentos de curto prazo (Kakinaka & Umeno, 2022).

1.2 Ativo de refúgio de investimento

Apesar da criptomoeda ter uma utilidade limitada como meio de pagamento, a verdade é que se tornou um ativo de investimento de grande interesse, superando as moedas fiduciárias tradicionais como o euro, o dólar ou a libra. Porém, tal facto coloca a questão de saber se a criptomoeda pode ser uma reserva de valor semelhante a outros ativos como *commodities* ou moeda fiduciária. Baur *et al.* (2018) mostram que a Bitcoin é muito diferente do ouro e das moedas fiduciárias pelas suas características de risco e retorno, principalmente por apresentarem volatilidade elevada.

O ouro sempre teve a particularidade de ser uma reserva de valor e daí ser uma boa opção de ativo de refúgio de investimento, alguns estudos procuraram perceber se a criptomoeda pode ser comparável com o ouro ou outro tipo de *commodities*, neste caso

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

as evidências científicas divergem completamente. Ji *et al.* (2020), Shahzad *et al.* (2019a) e Ghorbel e Jeribi (2021a) referem futuros de *commodities* e ouro como ativos de refúgio durante a pandemia, enquanto o investimento em Bitcoin e outras criptomoedas não apresentaram características de ativo de refúgio. Da mesma forma, Smales (2018) refere que a Bitcoin apresentou alta volatilidade e menos liquidez, por conseguinte não deve ser considerada como ativo de refúgio quando comparada com outros ativos como o ouro, algo igualmente confirmado por Ghorbel e Jeribi (2021b) que referem que a Bitcoin não foi um ativo de refúgio durante a pandemia comparativamente ao ouro. Bouri *et al.* (2017a) concluíram que a Bitcoin apresentou propriedades de diversificação de portfólio quando comparada com ações, petróleo, ouro ou *commodities*.

Por outro lado, Mokni *et al.* (2021) indicam que o ouro perdeu o estatuto de ativo de refúgio durante o período pandémico em comparação com um período anterior ao surto. Para além disso, as criptomoedas não permitem um investimento seguro alternativo para proteção dos investidores em períodos de maior incerteza económica e política. No mesmo sentido, Klein *et al.* (2018) referem o facto da Bitcoin ter um comportamento totalmente diferente do ouro, mais especificamente em períodos de incerteza de mercado. Numa linha de investigação semelhante, Choi e Shin (2021) sustentam que a Bitcoin pode ser utilizada como ativo de refúgio de investimento quando existem choques de inflação. Porém, em tempos marcados pela incerteza, a Bitcoin não apresenta condições de ativo de refúgio quando comparada com o ouro.

Bouri *et al.* (2017b) referem que a Bitcoin apenas se apresenta como um meio de diversificação de carteiras, mas não deve ser utilizada enquanto mecanismo de cobertura de risco. No mesmo sentido, Conlon e McGee (2020) salientam as propriedades de diversificação de portfólios em períodos de incerteza de mercado. Shahzad *et al.* (2019b) referem que o ouro e a Bitcoin apresentam alguns benefícios de ativo de refúgio, no entanto, não são tão eficientes em termos de diversificação de investimento como os mercados do G7. Contrariamente, Corbet *et al.* (2021) mostram que as criptomoedas foram usadas como reserva de valor para proteger contra perdas financeiras durante o período de pandemia e um potencial ativo de refúgio durante este período. Stensås *et al.* (2019) afirmam que a Bitcoin é um ativo de refúgio em períodos de incerteza e funciona

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

como proteção contra as quebras nos mercados de ações e *commodities*. Os mesmos autores alertam, contudo, para a sua falta de liquidez e volatilidade elevada.

Mariana *et al.* (2020) referem que em períodos de flutuações extremas no mercado de ações, as criptomoedas Bitcoin e Ethereum funcionam como ativo de refúgio de investimento apenas no curto prazo. Por outro lado, Melki e Nefzi (2021) mostraram que a Bitcoin não funcionou como ativo de refúgio nem apresentou comportamento de manada durante a pandemia. Por seu turno, o Ethereum foi um forte ativo de refúgio quando comparado com o mercado de *commodities*. Adicionalmente, Ripple foi um ativo de refúgio de investimento em comparação com o mercado de câmbio. Conlon *et al.* (2020) não consideram a Bitcoin e o Ethereum como ativo de refúgio comparativamente com mercados de ações. Além disso, o risco elevado associado à manutenção isolada de um portfólio que consiste em criptomoeda não compensa em comparação com uma carteira de ações.

A principal preocupação que surge aos investidores em cripto ativos é como proteger os seus investimentos ao mesmo tempo que se pretende uma diversificação das carteiras. Após a criação da Bitcoin, teve lugar a criação de novas criptomoedas que pretendiam complementar moedas com alta capitalização de mercado. Em termos de diversificação de investimento e redução de risco entre moedas digitais de alta capitalização durante um período de quebra de mercado, Kyriazis *et al.* (2019) concluíram que a maioria de novas criptomoedas têm propriedades complementares relativamente às criptomoedas com maior capitalização de mercado. Contudo, nenhuma consegue uma redução de risco relativamente a outros ativos financeiros em períodos de crise de mercado. As *stablecoins* tornaram-se uma alternativa interessante de investimento em criptomoeda para investidores que pretendem segurança e estabilidade de investimento numa classe de ativos que apresenta intrinsecamente alta volatilidade e risco. Examinando qual o potencial destas moedas em termos de ativo de refúgio quando comparadas com a Bitcoin, Baur e Hoang (2021) verificaram que as *stablecoins* só são efetivamente um ativo de refúgio e estáveis quando a Bitcoin apresenta retornos negativos extremos. Syuhada *et al.* (2022) concluíram que o Tether não foi um ativo de refúgio, dado que apresentou maior risco que a Bitcoin e o petróleo durante a pandemia, sugerindo cautela aos investidores

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

quando considerarem o Tether como um ativo de refúgio de investimento. Para Yan *et al.* (2022), a única criptomoeda cuja volatilidade diminuiu foi o Ripple, justificado pelo facto de ser usada para pagamentos internacionais. Além disso, durante a pandemia verificou-se uma diminuição da correlação entre Bitcoin e Ethereum, Bitcoin e Bitcoin Cash e Litecoin e EOS. A Bitcoin e o Ethereum foram consideradas pelos investidores como ativos de refúgio enquanto Bitcoin Cash, Litecoin e EOS eram vistos como investimentos mais arriscados.

Em termos de criptomoedas que têm ouro como garantia, Wasiuzzaman e Rahman (2021), verificaram que durante a pandemia os retornos médios e a volatilidade foram maiores. Adicionalmente, referem que este tipo de criptomoeda funciona como um ativo de refúgio de investimento eficaz durante períodos de crise financeira.

Existem algumas variáveis relevantes que pesam na estimação da volatilidade, tais como a incerteza de eventos futuros, a definição de políticas económicas em resposta a esses eventos ou a perceção do investidor relativamente ao risco, desta forma Fang *et al.* (2020) estudaram se estas variáveis tomam preponderância na volatilidade de longo prazo. Os resultados mostraram que existe uma elevada especulação no mercado de criptomoedas e que o investimento neste ativo digital funciona como estratégia de gestão de risco em comparação com o mercado de ações. Por contraste, Jiang *et al.* (2021) referem que comparativamente com o mercado de ações, o investimento em criptomoeda não se apresenta como um ativo de refúgio. Adicionalmente, o Ethereum apresenta-se como diversificador eficiente apenas no curto prazo, enquanto outras criptomoedas são mais eficientes no longo prazo.

1.3 Relação entre mercados

Quanto à vertente de relação entre a volatilidade da criptomoeda com outros mercados, Yin *et al.* (2020) procuraram relacionar a volatilidade da criptomoeda com os choques de mercado do petróleo. Verificaram que os choques do mercado de petróleo foram insignificantes na determinação da volatilidade da criptomoeda, apenas afetaram em termos macroeconómicos. Além disso, em ocasiões de risco elevado do mercado do petróleo, o preço da criptomoeda estabiliza.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Sendo a China o epicentro dos primeiros casos da Covid-19, Corbet *et al.* (2020) analisaram a relação da volatilidade das bolsas chinesas com a Bitcoin, tendo concluído que nem o ouro, nem a Bitcoin tiveram uma relação significativa com os mercados de ações chineses. Cao e Xie (2022) chegaram a resultados distintos, tendo concluído que o impacto da criptomoeda no mercado financeiro da China foi relativamente forte.

Akyildirim *et al.* (2019) mostraram que quando o receio dos investidores é elevado, a volatilidade da criptomoeda teve tendência a aumentar. Além disso, verificaram correlações elevadas entre criptomoedas e volatilidade implícita no mercado de ações no curto prazo. Ampountolas (2023) constatou que a pandemia teve um impacto significativo tanto na criptomoeda como na volatilidade do mercado de ações. Além disso, a volatilidade condicional das criptomoedas Bitcoin, Ethereum e Ripple e dos índices S&P 500, NASDAQ e DJIA aumentou.

Gil-Alana *et al.* (2019) referiram que os mercados de criptomoedas não mostraram relação com outras classes de ativos financeiros e ofereceram uma oportunidade de diversificação aos investidores. Chan *et al.* (2018) verificaram que a correlação da Bitcoin com ativos tradicionais mudou ao longo do tempo e que manter o investimento em Bitcoin por períodos longos pode proporcionar benefícios de cobertura de risco em certas condições de mercado. No entanto, observaram que a elevada volatilidade da Bitcoin e a falta de mecanismos de controlo do mercado de criptomoedas tornaram o investimento nestes ativos uma decisão desfavorável em termos de cobertura de risco. Adicionalmente, Corbet *et al.* (2018) concluíram que as criptomoedas relacionaram-se entre si, mas não apresentaram nenhum tipo de relação com outros ativos. Dyhrberg (2016) refere que a Bitcoin apresentou volatilidade elevada comparativamente com ativos tradicionais como o ouro e o dólar, sendo que a Bitcoin não teve uma relação significativa com o ouro e teve uma relação fraca com o dólar.

1.4 Transmissão de volatilidade

A transmissão de volatilidade começou a ser mais proeminente a partir de 2017 (Kumar & Anandarao, 2019; Beneki *et al.*, 2019) justificado pelo aumento da negociação destes ativos e a atenção que começaram a receber por parte dos investidores, em que se

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

verificou que o Ethereum e a Bitcoin foram diversificadoras de portfólio digital apenas quando o mercado esteve em alta. Liu (2018) refere que um portfólio baseado em diferentes criptomoedas pode otimizar o retorno do investimento e que a Bitcoin e o Ethereum apresentam maior potencial de diversificação de portfólio. Como forma de gestão de portfólio e proteção de risco de mercado durante este período, os investidores deslocaram-se entre mercados de ações e o mercado de criptomoedas com o objetivo de maximizarem retorno e reduzirem o risco (Uzonwanne, 2021). Al-Shboul *et al.* (2022) confirmaram as propriedades de ativo de refúgio das criptomoedas durante a pandemia, além disso, a transmissão de volatilidade entre moedas fiduciárias foi maior que a transmissão entre criptomoedas. Verificou-se também o aumento do comportamento de manada (Naeem *et al.*, 2021), uma vez que se trata de um mercado instável, imaturo, não regulamentado e suscetível a qualquer evento mediático. Foi já na segunda vaga da pandemia que se verificou uma transmissão de volatilidade mais significativa (Özdemir, 2022). Yousaf e Ali (2020) verificaram que a transmissão de volatilidade não se mostrou significativa entre criptomoedas durante o período anterior à pandemia, já durante o surto verificou-se transmissão de volatilidade da Bitcoin para o Ethereum, sendo a Bitcoin a criptomoeda mais influente na transmissão de volatilidade para as demais criptomoedas. Tal facto é também confirmado por Smales (2021), que refere que a Bitcoin e o Ethereum tiveram um impacto significativo noutras criptomoedas, para além de provocarem transmissão bidirecional de volatilidade, algo que também se verificou com as criptomoedas Litecoin e Ripple.

1.5 Determinantes de volatilidade

Para que os participantes de mercados financeiros tomem decisões de investimento tendo em consideração avaliação e mitigação de risco, torna-se necessário identificar os fatores exógenos que tomam preponderância na volatilidade. Walther *et al.* (2019) verificaram que os fatores económicos e financeiros globais exerceram maior influência na volatilidade do que fatores específicos de cada país. Adicionalmente, fatores exógenos conduzem a períodos de alta volatilidade quando o mercado da Bitcoin se encontra em queda, o que provoca consequências diretas na gestão de risco. Apergis (2021) analisou

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

o impacto da crise pandémica na determinação e previsão de retornos de volatilidade condicional, verificou-se que a pandemia exerceu um efeito positivo na volatilidade condicional dos retornos de criptomoeda e melhorou as previsões de volatilidade.

1.6 Criminalidade relacionada com a criptomoeda

A criptomoeda é um ativo digital financeiro não convencional e, por isso, está sujeita a falhas de segurança e diversos fatores que podem influenciar a oferta e procura, tais como, estabilidade de preço, cotação de mercado, bem como eventos exógenos, ataques informáticos e mediatismo, sendo que a volatilidade da criptomoeda é influenciada por eventos de cibercriminalidade (Corbet *et al.*, 2019). Desta forma, apesar de todos os benefícios que a criptomoeda possa proporcionar, é pertinente abordar as suas características negativas. Existem várias atividades ilícitas associadas a este tipo de investimento como esquemas de lavagem de dinheiro, financiamento do terrorismo, transações ilegais, esquemas *Ponzi* e fraudes criptográficas (Wilson, 2019). Foley *et al.* (2019) estimam que um quarto dos utilizadores de Bitcoin estão envolvidos em atividades ilícitas e que cerca de 76 biliões de dólares de atividades ilegais por ano envolvem a Bitcoin.

Os dados referentes à criptomoeda são armazenados exclusivamente num computador e o acesso a esses dados só pode ser feito utilizando um código criptográfico. Se os dados da carteira forem inadvertidamente apagados, então toda a carteira desaparece e as criptomoedas serão também perdidas. Os roubos de carteiras de criptomoeda, bem como o possível financiamento de atividades ilícitas são referidos por Bucko *et al.* (2015).

A utilização de criptomoeda para financiamento do terrorismo é uma preocupação das autoridades associada a este ativo. As características de anonimato e privacidade que lhe são inerentes, tornam-se um desafio para as autoridades detetarem o seu uso. As principais finalidades de apoio a atividades de organizações terroristas envolvem todo o processo de recrutamento, treino, planeamento e execução de ataques. Para reduzir o risco de financiamento do terrorismo através de criptomoeda, pode-se salientar a implementação de medidas por parte de alguns países de forma a aumentar a transparência das transações e reforçar a estrutura de regulamentação. O Grupo de Ação Financeira (GAFI), cujo

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

objetivo é estabelecer padrões globais para medidas de combate à lavagem de dinheiro e ao financiamento do terrorismo, emitiu algumas orientações sobre a regulamentação de moedas digitais. Foi recomendado que os países e prestadores de serviços exijam a validação da identidade dos clientes e relatem situações de transações suspeitas. A União Europeia aprovou em 2018 o regulamento "The Fifth Anti-Money Laundering Directive" (5AMLD), que determina que as transações de moedas virtuais devem cumprir verificações de combate à lavagem de dinheiro e financiamento do terrorismo. Os Emirados Árabes Unidos desenvolveram uma plataforma *blockchain* para o seu sistema financeiro que permite às entidades de regulamentação rastrear e monitorizar transações de criptomoeda em tempo real. A utilização desta tecnologia surge numa tentativa de facilitar a identificação de atividades suspeitas e a prevenção do financiamento do terrorismo.

A solução proposta para os problemas acima descritos passa por estabelecer mecanismos adequados de controlo por parte das principais organizações reguladoras e ajustar políticas que permitam um papel ativo de supervisão (Gandal *et al.*, 2018). Adam e Fazekas (2021) enfatizam que a tecnologia sozinha não chega para resolver a criminalidade associada à criptomoeda e que são necessários esforços dos reguladores financeiros, autoridades governativas e setor privado para garantir a integridade e segurança do sistema financeiro.

1.7 A criptomoeda em Portugal

Na maioria dos países a negociação, uso e troca de criptomoeda é aceite, no entanto, devido às características intrínsecas em termos de volatilidade, descentralização e atividades ilícitas, alguns países como Bolívia, Equador, Colômbia proibiram o uso e investimento em criptomoeda. Na China, a troca e negociação de criptomoeda está proibida. El Salvador é o único país a aprovar a Bitcoin como moeda legal. Em Portugal, a utilização de criptomoeda é legal e não está sujeita a restrições específicas, embora existam alguns desafios regulatórios e fiscais que necessitam de ser solucionados. Em 2021, o Banco de Portugal emitiu um aviso que alertava para os riscos associados ao uso de criptomoeda e que esta não é considerada moeda legal no país. No entanto, foi

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

reconhecida a sua importância como meio de pagamento alternativo e estavam a ser elaboradas diretrizes regulatórias mais esclarecedoras.

Atualmente, ainda persiste a situação de não tributação e lacuna de legislação específica aplicada à criptomoeda em Portugal. Segundo a Autoridade Tributária e Aduaneira, não é considerada moeda e não dispõe de curso legal ou de poder liberatório em Portugal. A informação fiscal que existe atualmente são apenas os processos nº 14910 e nº 5717/2015 divulgados pela AT que abordam o enquadramento da criptomoeda em termos de IVA e IRS.

Em termos de enquadramento fiscal relativamente a IRS, segundo a ficha doutrinária nº 5717/2015 a criptomoeda pode gerar vários tipos de rendimentos tributáveis:

- Ganhos obtidos com compra e venda de moeda virtual ou câmbio de criptomoeda por moeda real (dólar, euro, etc.);
- Obtenção de comissões pela prestação de serviços relacionados com criptomoeda;
- Ganhos derivados de vendas de produtos ou serviços em criptomoeda.

Em teoria, a AT aponta as categorias em que podem ser incluídos rendimentos provenientes deste tipo de investimento em termos de IRS: Categoria B - Rendimentos empresariais ou profissionais, Categoria E - Rendimentos de capitais, Categoria G - Incrementos patrimoniais e mais-valias. No que concerne o enquadramento de rendimentos na categoria B, isto só se irá verificar no caso de uma empresa ter como atividade habitual a venda de criptomoeda. É também referido no processo que se esta categoria for aplicável e em concorrência com a categoria G e E, então a categoria B irá prevalecer sobre as anteriores. Nesta categoria podem ser tributados rendimentos que provenham de vendas ou revistam qualquer outra natureza, nos termos do n.º 1 do art.º 3 do Código do IRS.

Em termos de IVA, no caso específico de câmbio de criptomoeda por euro ou qualquer outra moeda, esta operação configura-se como uma prestação de serviços efetuada a título oneroso e encontra-se isenta ao abrigo do artigo 9º, alínea 27), d) – 'As operações, incluindo a negociação, que tenham por objeto divisas, notas bancárias e moedas, que

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

sejam meios legais de pagamento, com exceção das moedas e notas que não sejam normalmente utilizadas como tal, ou que tenham interesse numismático'.

Pela falta de uma pesquisa abrangente da volatilidade do mercado de criptomoedas durante o período de pandemia e pelo aumento do interesse nesta classe de ativos financeiros, esta pesquisa poderá preencher uma lacuna na literatura. Na próxima secção serão apresentados e descritos o conjunto de dados e a metodologia que será aplicada no estudo.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

2 DADOS E METODOLOGIA

2.1 Variável dependente - Criptomoeda

Os dados utilizados neste estudo são as cotações de fecho diárias (em dólares americanos) de quatro criptomoedas: Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), Tether (USDT) e Binance Coin (BNB). A seleção da amostra foi ditada pela percentagem de representatividade no mercado, capitalização de mercado e pela disponibilidade de dados à data do estudo. O período de análise é de 1 de dezembro de 2019 a 1 de dezembro de 2021. A criptomoeda é transacionada diariamente, ao contrário dos índices, ouro e taxa de câmbio, por essa razão foram removidos dados relativos a fins de semana e feriados de forma a ser possível avaliar dados consistentes, assim a amostra conta com 501 observações.

Os dados das cotações de fecho foram extraídos do site Yahoo Finance e seguem uma tendência semelhante, um crescimento lento ao longo de 2020 e uma evolução exponencial a partir do início do ano de 2021, à exceção do Tether que teve um comportamento constante devido à sua propriedade intrínseca de ser *stablecoin*. Pode verificar-se ainda uma pequena quebra a 20 de julho de 2021 para todas as criptomoedas, apesar de se observar rapidamente um novo crescimento nos dias seguintes, que pode ser explicado pelo aumento considerável de casos da variante Delta. A Bitcoin e o Ethereum atingiram os seus preços máximos históricos de 67.566 USD e 4.812 USD, respetivamente, no dia 8 de novembro de 2021.

A Tabela 2 descreve as quatro criptomoedas que serão analisadas.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Tabela 2: Descrição das criptomoedas em análise

Criptomoeda	Características	Capitalização de mercado (em USD)1
Bitcoin (BTC)	Foi lançada em 2009, é a criptomoeda mais transacionada e com maior valor de mercado. É armazenada, distribuída e negociada num sistema descentralizado denominado como *blockchain*. Bitcoin *wallet* é o sistema digital que facilita a negociação e permite aos utilizadores rastrear a propriedade da moeda. Os indivíduos e empresas que gerem a tecnologia do sistema *peer-to-peer* são chamados de *miners* e têm a seu cargo todo o processo de transação de Bitcoin. Os criadores estipularam um limite de circulação de 21 milhões de *tokens*. Atualmente o tempo médio de confirmação de transação é de aproximadamente nove minutos.	$ 568.449.734.378 19 milhões BTC (moedas) em circulação
Ethereum (ETH)	Foi lançada em 2015 por Vitalik Buterin, com o propósito inicial de complementar a Bitcoin e não competir diretamente, no entanto, à presente data assume o segundo lugar em termos de valor de mercado. Tem um limite de circulação infinito. Foi criada para ser utilizada como meio de pagamento na plataforma *blockchain* chamada Ethereum que consiste num *marketplace* onde podem ser transacionados serviços financeiros, jogos, aplicações e vários tipos de negócios.	$ 6.796.646.872 120 milhões ETH em circulação
Tether (USDT)	Foi criada em 2014 pela Tether Limited, com o nome Realcoin. As transações do Tether apenas começaram a ser negociadas em 2015. Foi estabelecido um limite de circulação inicial de 10 biliões de *tokens*, no entanto, atualmente a circulação varia consoante a procura. É uma *stablecoin*, ou seja, o seu valor mantém-se estável por estar assegurada por moeda fiduciária (dólar americano). No entanto, já enfrentou controvérsia devido a questões relacionadas com transparência e reserva de valor. Esta criptomoeda serve como uma alternativa apropriada a investidores que pretendam evitar a alta volatilidade das criptomoedas habituais.	$ 81.675.219.533 81 biliões USDT em circulação
Binance Coin (BNB)	Foi lançada em 2017 pela Binance Exchange como *utility token*. É transacionada na *blockchain* Binance Smart Chain onde é usada como meio de pagamento para serviços financeiros, entretenimento, marcação de estadias e oferece aos seus investidores descontos nos custos de transação. Tem um limite de moedas em circulação de 200 milhões BNB.	$ 50.459.823.310 155 milhões BNB em circulação

Fonte: Elaboração própria

[1]Informação recolhida do site coinmarketcap.com no dia 29 de abril de 2023

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

2.2 Variáveis independentes - Índices, ouro e taxa de câmbio

Através do site Yahoo Finance, foram recolhidos dados referentes às cotações dos índices de mercado mais relevantes, nomeadamente, S&P 500, Dow Jones Industrial Average e Euronext NV, e também, dados de ouro (GCF23) e da taxa de câmbio USD/EUR. O período coberto é o que anteriormente se referiu, de 1 de dezembro de 2019 a 1 de dezembro de 2021, com exceção, necessariamente, dos fins de semana e dos feriados. De modo a obter dados consistentes, serão calculados os retornos logarítmicos.

2.3 Metodologia

2.3.1 Retornos

De forma a obter resultados mais exatos na estimativa, os retornos diários são calculados através da fórmula abaixo:

$$R_t = ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \tag{2.1}$$

onde R_t representa o retorno da criptomoeda no dia t, ln indica a função logarítmica, P_t é o preço de fecho atual e P_{t-1} é o preço de fecho do dia anterior.

2.3.2 Teste de normalidade Jarque-Bera

Tendo em conta a literatura existente, o teste Jarque-Bera (Bera & Jarque, 1981) é o mais frequentemente aplicado de forma a aferir a distribuição normal de uma série, mais especificamente quando é também utilizado o método GARCH.

$$JB = \frac{n}{6}(\sqrt{b_1})^2 + \frac{n}{24}(b_2 - 3)^2 \tag{2.2}$$

em que n corresponde ao número de observações da amostra; $\sqrt{b_1}$ é a assimetria e b_2 é a curtose.

A hipótese nula define que a amostra segue uma distribuição normal enquanto a hipótese alternativa define uma distribuição não normal.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Adicionalmente, foi ainda conduzido um teste valor-p para aprofundar a validação do teste Jarque-Bera.

2.3.3 Estacionariedade

A estacionariedade significa que as propriedades da média e desvio padrão da série temporal não se alteram ao longo do tempo, de forma a verificar a existência de raiz unitária foi aplicado o teste Dickey-Fuller aumentado (ADF).

O teste ADF é formalizado da seguinte forma:

$$y_t = \mu + \alpha y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \beta_i \, y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{2.3}$$

onde y_t representa o valor da série temporal no período t; μ é uma constante, αy_{t-1} é um coeficiente multiplicado pelos valores observados no período anterior, p indica a ordem de lag (desfasamento); ε_t é o termo de erro de ruído branco.

Na execução deste teste é necessário escolher um número de desfasamentos (*lags*) apropriado, uma vez que escolher um número demasiado pequeno pode afetar a avaliação da autocorrelação, Schwert (1989) estabeleceu um $p_{max} = 12 * (\frac{T}{100})^{\frac{1}{4}}$, em que T é o número de observações da amostra. A hipótese nula indica que (H_0: $\alpha = 0$), isto significa que a série é não estacionária, enquanto a hipótese alternativa H_1: $\alpha < 0$ indica que a série é estacionária e não existe raiz unitária. Neste teste foram utilizados dezoito *lags* e os cálculos foram efetuados com e sem constante e constante mais tendência.

Como teste de robustez foi aplicado também o teste KPSS (Kwiatkowski *et al.*, 1992), sendo que:

$$y_t = \beta_0 D_t + \mu_t + u_t, u_t \sim WN \tag{2.4}$$

em que D_t contém componentes que podem ser uma constante ou uma constante a somar uma tendência temporal (ambas foram calculadas), u_t e ε_t são variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (comumente referidas como i.i.d.) e μ_t define-se como *random walk* e segue o processo de distribuição normal:

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim N(0,1) \tag{2.5}$$

Kwiatkowski *et al.*, 1992 referem que a hipótese nula indica que se a variância do erro for igual a 0 ($H_0: \sigma_\varepsilon^2 = 0$), então μ_t é uma constante e diminui para uma tendência μ; assim, y_t segue uma tendência estacionária. Por outro lado, se a variância for superior a 0, então aceita-se a hipótese alternativa ($H_1: \sigma_\varepsilon^2 > 0$), uma vez que μ varia ao longo do tempo, o que indica que y_t é uma série não estacionária. Os cálculos foram efetuados para constante e constante mais tendência.

2.3.4 Heteroscedasticidade

Foram utilizados os testes formulados por Ljung e Box (1978) e Box e Pierce (1970) para a função quadrática dos resíduos de forma a averiguar a presença de heteroscedasticidade e existência de autocorrelação. O teste Ljung-Box formaliza-se da seguinte forma:

$$Q_{LB} = n(n+2)\sum_{i=1}^{t}\frac{\hat{\beta}_i^2}{n-i} \sim \chi^2(t) \tag{2.6}$$

onde n é o número de observações da amostra, t é o número de *lags* e β_i é o coeficiente de autocorrelação.

A hipótese nula indica que os resíduos apresentam uma distribuição independente, enquanto a hipótese alternativa estabelece que os resíduos não apresentam uma distribuição independente e verifica-se autocorrelação serial. A hipótese nula é rejeitada se $Q_{LB} > \chi^2(t)$.

O teste Box Pierce é formalizado da seguinte forma:

$$Q_{BP} = n\sum_{i=1}^{t}\hat{\beta}_i^2 \sim \chi^2(t) \tag{2.7}$$

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

2.3.5 ARCH

O modelo ARCH, proposto por Engle (1982), permite avaliar a persistência de volatilidade nos processos de retorno ao longo do tempo através da variância de uma série temporal. Este modelo é formalizado da seguinte forma:

$$X_t = \sigma_t \varepsilon_t \tag{2.8}$$

onde σ_t é o desvio padrão condicional do termo de erro ε_t no período t e ε_t é uma sequência de variáveis aleatórias i.i.d.

A equação de variância condicional é definida abaixo:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 X_{t-1}^2 \tag{2.9}$$

em que ω corresponde à variância dos retornos, X_{t-1}^2 é a função quadrática de resíduos passados, com os parâmetros de restrição: $\omega > 0$ e $\alpha \geq 0$.

A hipótese nula ($H_0: \alpha = 0$) implica a ausência de efeitos ARCH no processo, enquanto a hipótese alternativa reconhece a presença de efeitos ARCH na variância condicional.

2.3.6 GARCH

A presença de memória longa é uma das características persistentes da volatilidade da criptomoeda, por isso irá recorrer-se à aplicação de três modelos GARCH para estimar a volatilidade da criptomoeda formulados por Bollerslev (1986). A utilização destes modelos para analisar dados de séries temporais financeiras é a mais comum devido à sua robustez de estimação da volatilidade dos retornos, porque permite a captação dos *clusters* e da heteroscedasticidade.

2.3.6.1 GARCH normal

O modelo GARCH é formulado por duas equações: equação de média condicional e equação de variância condicional.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

A equação da média condicional surge formalizada abaixo:

$$r_t = \mu + \varepsilon_t \tag{2.10}$$

onde r_t é o valor observado da série no período t, μ é o valor médio da série e ε_t um termo de erro com distribuição normal,

Por seu turno, a equação de variância condicional é formalizada da seguinte forma:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \tag{2.11}$$

em que ω é um termo constante $(\omega > 0)$, α e β correspondem aos termos ARCH e GARCH que definem se a série temporal é persistente, com parâmetros de restrição: $\alpha + \beta < 1$ e $\alpha, \beta > 0$, ε_{t-1}^2 corresponde ao erro padrão do dia anterior e σ_{t-1}^2 indica a variância do dia anterior.

A função de máxima verosimilhança (MLE) e expressa-se da seguinte forma:

$$L(\mu, \omega, \alpha, \beta) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\varepsilon_t^2}{2\sigma_t^2}} \tag{2.12}$$

em que μ é a média da série temporal, ε_t^2 refere-se aos valores da volatilidade histórica (*realized volatility*) e v_t é a volatilidade condicional.

Uma vez que os retornos seguem uma distribuição leptocúrtica com caudas pesadas, ou seja, uma distribuição não normal, optou-se pela aplicação dos modelos GARCH normal, *t-student* e GED de forma a comparar qual é o mais indicado para estimar a volatilidade tendo em conta o excesso de curtose.

2.3.6.2 GARCH t-student

Para colmatar o problema do excesso de curtose, as variáveis foram testadas seguindo um modelo GARCH *t-student*, através do qual é possível captar melhor as caudas pesadas da distribuição. A equação da média condicional do modelo GARCH *t-student* é idêntica à do modelo GARCH normal, sendo que a equação da variância condicional se escreve da seguinte forma:

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \gamma \frac{\varepsilon_{t-1}^2 + \nu_{t-1}}{\nu_{t-1}} \quad (2.13)$$

onde ω é um termo constante, α_1 é o coeficiente do termo desfasado da variância (ARCH) para o i-ésimo período, β_1 é o coeficiente do termo desfasado da variância condicional (GARCH) para o i-ésimo período, γ é o coeficiente associado ao erro da previsão do dia anterior, ν_{t-1} é o grau de liberdade da distribuição *t-student*, ε_{t-1}^2 representa o quadrado do erro padrão do dia anterior.

A função de máxima verosimilhança é formulada da seguinte forma:

$$L(\mu, \omega, \alpha, \beta, d) = \frac{\Gamma\left(\frac{d+1}{2}\right)}{\sigma_t \sqrt{d\pi}\,\Gamma\left(\frac{d}{2}\right)} \left(1 + \frac{\varepsilon_t^2}{d\sigma_t^2}\right)^{-\frac{d+1}{2}} \quad (2.14)$$

em que μ é a média condicional da série, ω, α, β são os parâmetros GARCH, d são os graus de liberdade para uma distribuição *t-student* ($d = \frac{6}{k} + 4$, com k a representar a curtose dos retornos), Γ representa a função gamma, ε_t^2 é o quadrado do termo de erro no período t e σ_t^2 é o desvio padrão condicional da série no período t.

2.3.6.3 GARCH GED

Trata-se de uma extensão do modelo GARCH que permite lidar com distribuições de erro que não são normalmente distribuídas. Nestes casos, é utilizada uma distribuição GED para a distribuição de erro, a qual inclui um parâmetro de potência para captar o excesso de curtose da distribuição e as características de cauda pesada. A equação de variância condicional formaliza-se do seguinte modo:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 (1 + \gamma (\frac{\varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}})^2) \quad (2.15)$$

em que ω é um termo constante, α_1 é o coeficiente do termo de erro ao quadrado desfasado, β_1 é o coeficiente do termo de variância condicional desfasado, γ é o parâmetro *shape* para a distribuição GED que afeta o comportamento das caudas, ε_{t-i} é

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

o termo de erro no período $t-i$, σ_{t-i} é a volatilidade condicional no período $t-i$ e i é a ordem do processo GARCH.

A função densidade de probabilidade é dada pela expressão:

$$L(\mu,\omega,\alpha,\beta,\gamma) = \frac{\gamma}{2\sigma_t \Gamma\left(\frac{1}{\gamma}\right)} e^{-\left(\frac{\varepsilon_t}{\sigma_t}\right)^{\gamma}} \tag{2.16}$$

em que μ é a média condicional da série, ω é o termo constante no modelo GARCH, α é o coeficiente de ajustamento da volatilidade passada (mede o impacto da volatilidade passada na volatilidade atual), β é o coeficiente de ajustamento da variância passada (mede o impacto da variância passada na variância atual), γ é o parâmetro *shape* que representa as caudas e o pico da distribuição, σ_t é a volatilidade condicional no período t, ε_t é o erro padrão no período t, Γ é a função gamma.

No que se refere ao parâmetro *shape*, se $\gamma = 2$ então a distribuição é normal, se $\gamma < 2$ então a cauda é pesada e se $\gamma > 2$ a cauda é curta.

Adicionalmente, de forma a aferir a precisão dos modelos GARCH será também calculado o erro da raiz quadrada média:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(\sigma_t^2 - \hat{\sigma}_t^2)^2} \tag{2.17}$$

em que n representa o número de observações, σ_t^2 representa a variância condicional na observação t e $\hat{\sigma}_t^2$ representa a variância condicional prevista para a observação t.

É possível minimizar a raiz quadrada média ou maximizar a verosimilhança estimada, uma vez que a maioria dos estudos afirma que maximizar a verosimilhança irá apresentar resultados mais robustos, optou-se por essa escolha para todos os modelos GARCH. Através dos critérios AIC (Akaike, 1974) e BIC (Schwarz, 1978) irá ser selecionado o modelo GARCH que melhor estimar a série temporal minimizando as funções:

$$AIC = 2k - 2\ln L \tag{2.18}$$

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

em que k corresponde ao número de parâmetros e L é o valor máximo da função log-verosimilhança.

$$BIC = k \ln n - 2 \ln L \tag{2.19}$$

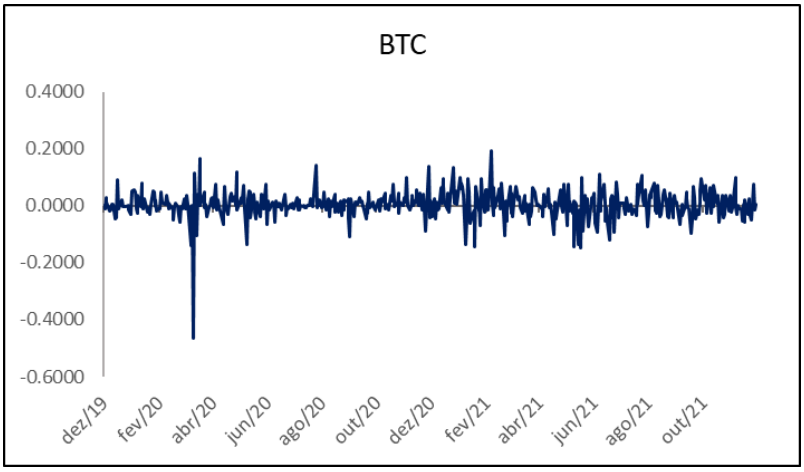
em que n refere-se ao número de observações da amostra.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

3 RESULTADOS EMPÍRICOS

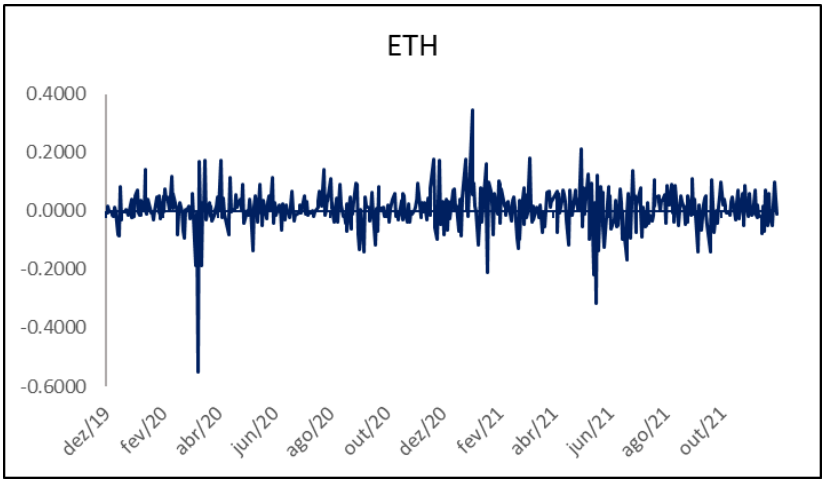
As figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam os retornos diários das criptomoedas selecionadas durante o período de análise. É possível observar o efeito *cluster* nos retornos de todas as criptomoedas, sendo que os picos mais acentuados coincidem em todos os ativos nos mesmos períodos. Excetua-se o caso do Tether, que em abril de 2020 e junho de 2021 apresenta picos de retornos negativos e em fevereiro de 2021 apresenta o pico mais elevado.

Figura 1: Retornos diários da Bitcoin



Fonte: Elaboração própria

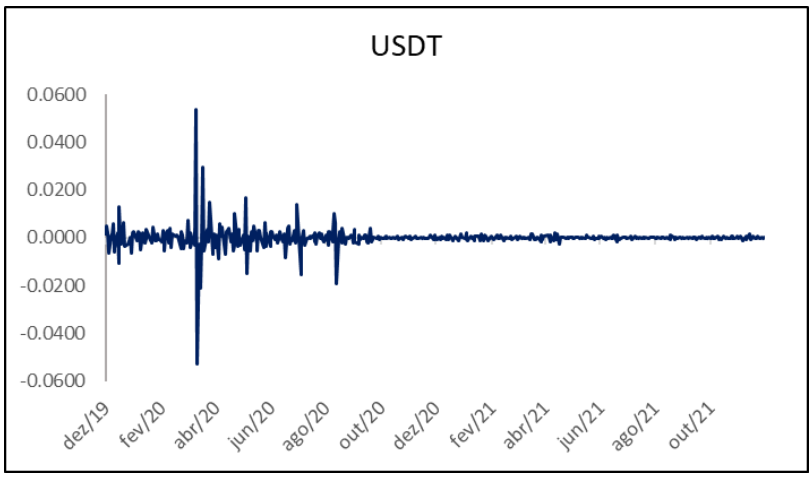
Figura 2: Retornos diários do Ethereum



Fonte: Elaboração própria

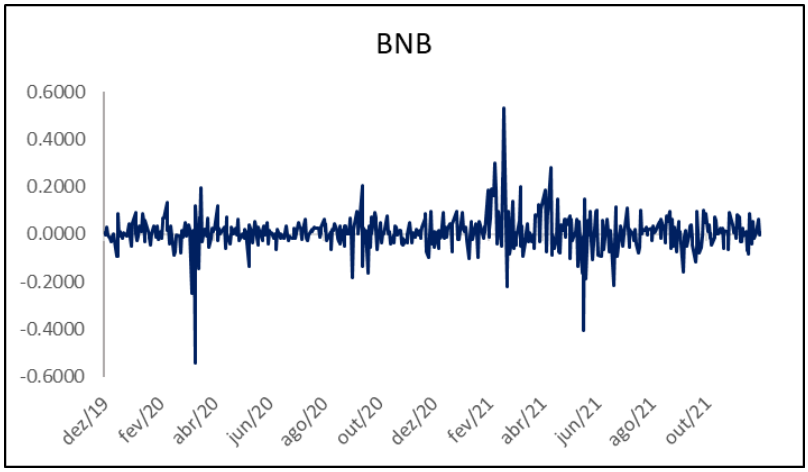
Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Figura 3: Retornos diários do Tether



Fonte: Elaboração própria

Figura 4: Retornos diários da Binance Coin

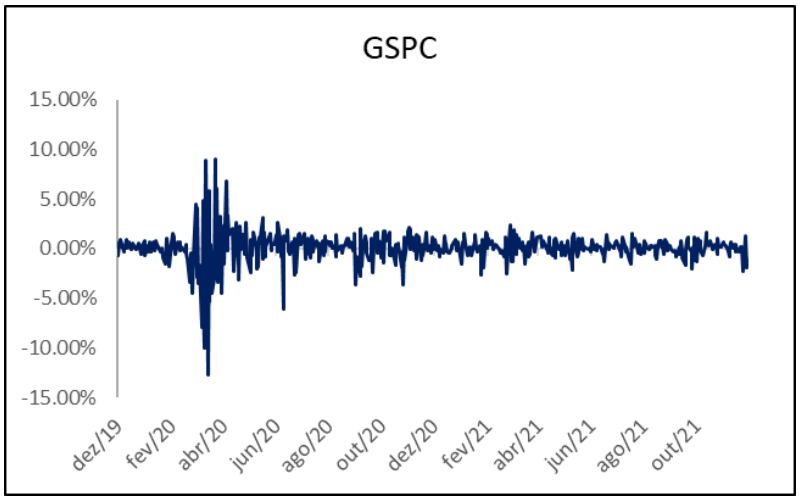


Fonte: Elaboração própria

As figuras 5, 6, 7, 8 e 9 apresentam os retornos diários dos índices, ouro e taxa de câmbio selecionados para o período de análise. É possível observar que os retornos das bolsas apresentam comportamentos similares, um pico de retornos negativos em abril de 2020, tal como aconteceu com as criptomoedas, sendo que os retornos máximos ocorreram pouco tempo depois, ainda no início do surto pandémico.

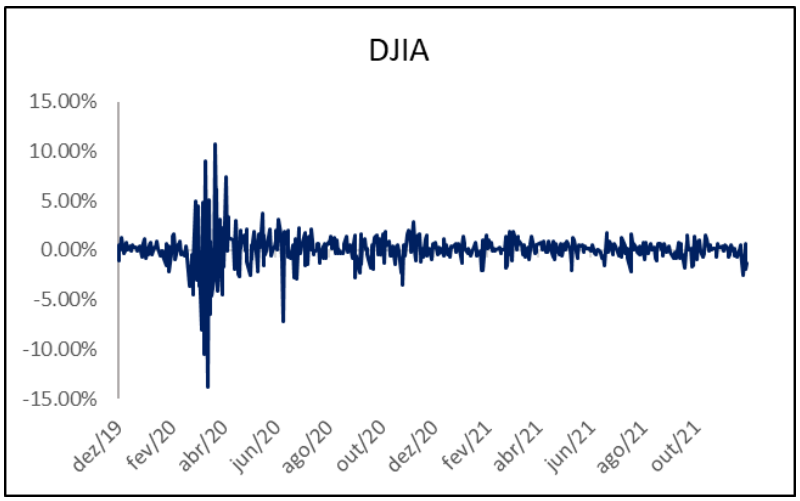
Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Figura 5: Retornos diários do S&P 500



Fonte: Elaboração própria

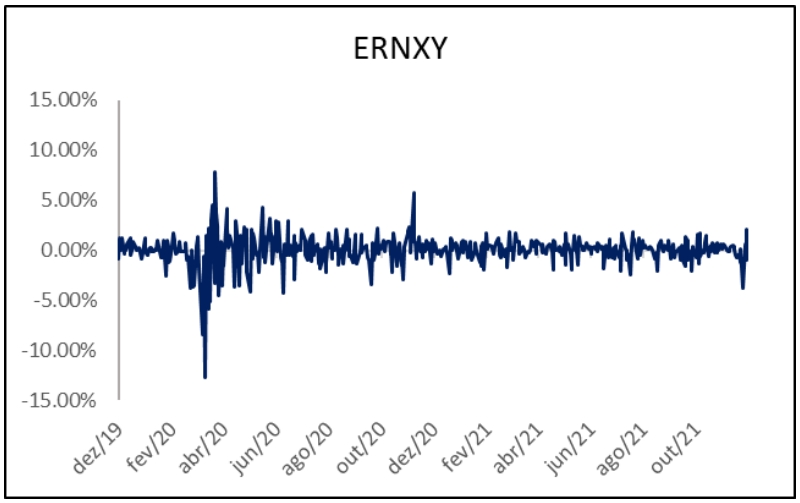
Figura 6: Retornos diários do Dow Jones



Fonte: Elaboração própria

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

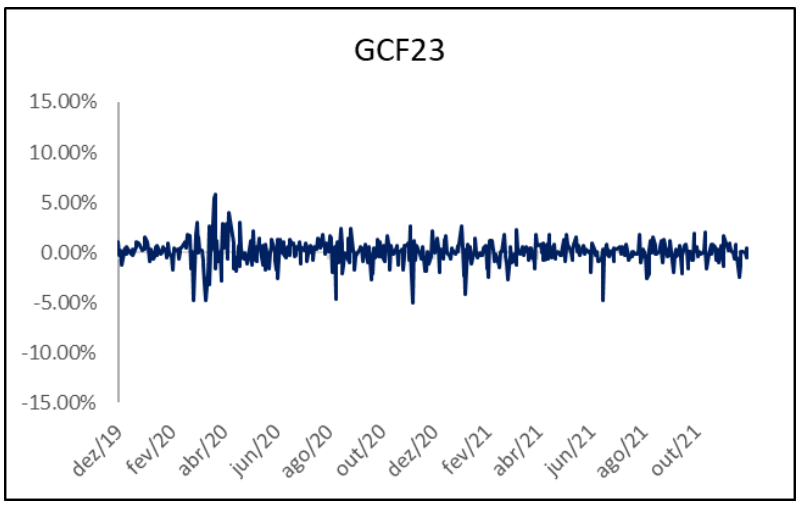
Figura 7: Retornos diários da Euronext



Fonte: Elaboração própria

Os retornos do ouro apresentaram múltiplas oscilações, com o pico máximo a ocorrer também em abril de 2020.

Figura 8: Retornos diários do ouro

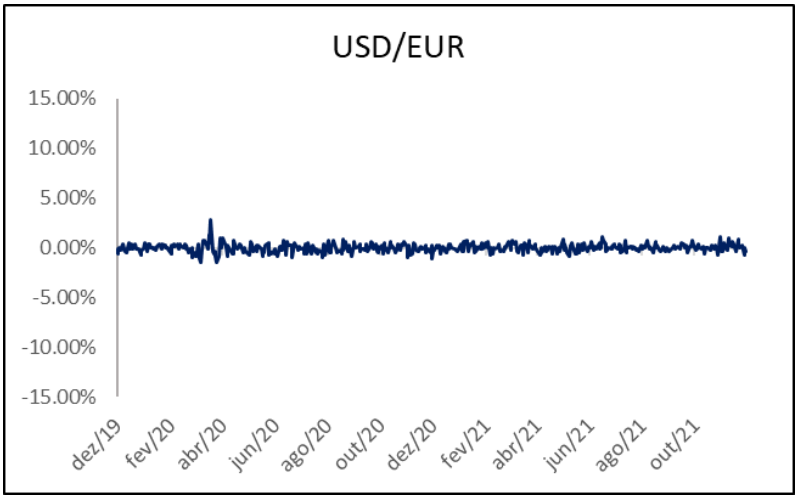


Fonte: Elaboração própria

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Os retornos da taxa de câmbio USD/EUR não apresentaram variações significativas em comparação com os outros ativos.

Figura 9: Retornos diários da taxa de câmbio USD/EUR



Fonte: Elaboração própria

A Tabela 3 apresenta o sumário das estatísticas descritivas dos retornos das criptomoedas analisadas.

Tabela 3: Estatísticas de sumário – Criptomoedas

Estatística	BTC	ETH	USDT	BNB
Média	0,004112	0,006853	-0,000003	0,007443
Variância	0,002397	0,004383	0,000022	0,005484
Desvio-padrão	0,048960	0,066201	0,004637	0,074056
Curtose	17,500918	12,512585	72,493591	13,454650
Assimetria	-1,750164	-1,227348	0,423562	-0,297519
Mínimo	-0,464730	-0,550732	-0,052570	-0,543084
Máximo	0,191527	0,343523	0,053393	0,529218
Jarque-Bera	6499,33	3315,64	107292,00	3697,25
p-value	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria

É possível observar que todas as criptomoedas, com a exceção do Tether, apresentam um retorno médio positivo durante o período de análise, o que à partida pode indicar que se tratam de investimentos atrativos. O Tether apresenta menor média e desvio-padrão, enquanto a Binance apresenta maior média e desvio padrão. Numa análise simplista,

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

poderemos apontar que o Tether é a criptomoeda com menor risco e que a Binance é a que apresenta o maior risco.

Relativamente à curtose, todas as criptomoedas apresentam excesso de curtose pelos seus resultados serem superiores a 3. Além disso, afastam-se de uma distribuição normal. Com efeito, os resultados indicam que a distribuição é leptocúrtica, o que significa que existe risco elevado neste tipo de investimento e que o investidor irá verificar várias flutuações de preço caso escolha investir nestas criptomoedas. As criptomoedas Bitcoin, Ethereum e Binance apresentam assimetria negativa, o que indica uma cauda mais longa à esquerda da distribuição. No caso particular da Bitcoin e do Ethereum, em que se verificam valores de assimetria altamente negativos, indica que tiveram maior probabilidade de retornos negativos. O Tether apresentou uma assimetria ligeiramente positiva, indicando uma maior probabilidade de obter retornos positivos. Através do teste Jarque-Bera pode observar-se que nenhum dos retornos das criptomoedas segue uma distribuição normal e desta forma irão ser aplicados modelos GARCH de distribuição não normal.

Os resultados desta análise preliminar permitem tecer, desde já, algumas considerações sobre o comportamento das criptomoedas durante o período de pandemia. O Tether apresenta um retorno diário médio próximo de zero e uma volatilidade diária reduzida, donde resulta que esta criptomoeda possa ser vista como uma opção de investimento atrativa para investidores que procuram minimizar o risco em períodos de incerteza como o da pandemia. A volatilidade elevada do Ethereum e da Binance pode representar uma oportunidade para investidores que procuram retornos elevados, embora implique também um maior risco. A assimetria negativa dos retornos diários da Bitcoin e do Ethereum significa que as descidas nos retornos foram mais acentuadas do que as subidas, ou seja, num ambiente de incerteza de mercado, os investidores preferem desfazer-se de ativos de risco elevado do que investir neles.

Contudo, de forma geral, é possível afirmar que a pandemia da Covid-19 afetou positivamente os retornos das criptomoedas em análise.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

A Tabela 4 apresenta as estatísticas de sumário dos retornos dos índices, ouro e taxa de câmbio selecionados para análise.

Tabela 4: Estatísticas de sumário - Índices, ouro e taxa de câmbio

Estatística	GSPC	DJIA	ERNXY	GCF23	USD/EUR
Média	0,000742	0,000405	0,000356	0,000389	-0,000056
Variância	0,000270	0,000301	0,000223	0,000137	0,000018
Desvio-padrão	0,016427	0,017363	0,014923	0,011683	0,004228
Curtose	15,437709	17,141465	15,138861	4,628025	3,849481
Assimetria	-1,085298	-1,057599	-1,632791	-0,362693	0,458238
Mínimo	-0,127652	-0,138418	-0,127517	-0,049913	-0,014467
Máximo	0,089683	0,107643	0,078590	0,058021	0,028144
Jarque-Bera	4956,47	6084,16	4893,3	445,98	318,09
p-value	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que todas as bolsas e o ouro apresentam um retorno médio positivo. A taxa de câmbio USD/EUR apresenta a menor média e o S&P 500 a maior. A taxa USD/EUR apresenta o menor desvio-padrão (menor risco) enquanto o Dow Jones apresenta o maior risco.

Em termos de curtose, os valores apresentados são superiores a 3, indicando que a distribuição é leptocúrtica. Os índices bolsistas e o ouro apresentam assimetria negativa, o que indica uma cauda mais longa à esquerda da distribuição. O Dow Jones apresenta um valor mínimo de -0,138, o que indica que os retornos caíram 13,8% num dia em comparação com o dia seguinte. Tal como aconteceu com os retornos das criptomoedas, os retornos dos índices, ouro e taxa de câmbio seguem uma distribuição não normal e dessa forma irá rejeitar-se a hipótese nula do teste Jarque-Bera.

A média dos retornos diários foi positiva, o que indica que todas as variáveis independentes proporcionaram retorno aos investidores durante a pandemia. Os valores de variância e desvio padrão foram baixos, o que indica que apresentaram menor volatilidade do que as criptomoedas. Os valores de assimetria negativa para o S&P 500, Dow Jones, Euronext e taxa de câmbio USD/EUR indicam que o risco de queda foi mais expressivo do que o potencial de retorno, semelhante ao que aconteceu com as

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

criptomoedas. Os valores elevados de curtose para os índices S&P 500, Dow Jones e Euronext mostram os movimentos de retorno mais extremos do que seria esperado sob uma distribuição normal. Isto sugere que estes instrumentos financeiros tiveram forte potencial de risco e recompensa.

Em suma, a análise preliminar indica que os índices S&P 500, Dow Jones, Euronext, ouro e USD/EUR apresentaram níveis baixos de volatilidade, comparativamente à criptomoeda, e uma relação de risco/recompensa vantajosa durante a pandemia.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos testes de estacionariedade. O teste ADF evidenciou que não há raiz unitária nos processos que geram retornos das criptomoedas, dessa forma as séries de retorno são estacionárias, o que é adicionalmente confirmado pelo teste KPSS.

Tabela 5: Testes de estacionariedade - Criptomoedas

ADF	BTC	ETH	USDT	BNB
Sem constante	-7,7088	-6,7406	-11,9561	-6,2782
Com constante	-7,9279	-7,1289	-11,9623	-6,5675
Constante + tendência	-7,9197	-7,1261	-11,9765	-6,5738
KPSS	0,0981	0,0595	0,0062	0,1174

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 6 observam-se os testes de estacionariedade dos índices e taxa de câmbio, verifica-se pelos testes ADF e KPSS que não existe raiz unitária nos processos que geram retornos, pode-se concluir que as séries de retorno são estacionárias.

Tabela 6: Testes de estacionariedade - Índices, ouro e taxa de câmbio

ADF	GSPC	DJIA	ERNXY	GCF23	USD/EUR
Sem constante	-4,9165	-4,9772	-5,5502	-6,1722	-6,1064
Com constante	-5,6206	-4,9854	-5,5588	-6,2440	-6,1058
Constante + tendência	-5,6253	-4,9865	-5,6649	-6,4975	-6,2969
p-value	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
KPSS	0,0554	0,0697	0,0632	0,0354	0,0639

Fonte: Elaboração própria

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Uma vez que a estacionariedade de uma série temporal é uma pré-condição para a utilização do modelo GARCH (Yin *et al.*, 2020), tendo ambas as variáveis verificado estacionariedade, isto torna-se um bom indicador para a utilização do modelo.

A tabela 7 apresenta os testes Box-Pierce e Ljung-Box, bem como os resultados do modelo ARCH.

Tabela 7: Testes de heteroscedasticidade e ARCH - Criptomoedas

Testes	**BTC**	**ETH**	**USDT**	**BNB**
Box-Pierce	22,09	24,36	180,72	19,24
Ljung-Box	22,30	24,58	181,88	19,39
p-value	0,00	0,00	0,00	0,00
ARCH				
MLE	799,85	649,73	2170,25	617,31
α	0,01	0,02	1,00	0,32
v_t^2	0,05	0,07	0,00	0,06

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos mostram um valor-p abaixo de 5% então os resíduos das criptomoedas são heterocedásticos e a volatilidade comporta-se de acordo com o processo ARCH, desta forma é possível aplicar o modelo GARCH na série temporal. Estes testes foram efetuados com cinco desfasamentos. Os valores de MLE resultantes do teste ARCH são elevados, o que indica o nível elevado dos *clusters* de volatilidade dos resíduos, ou seja, períodos de volatilidade elevada são seguidos por outros períodos de volatilidade elevada.

A tabela 8 apresenta a matriz de correlação entre as variáveis selecionadas para o estudo.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Tabela 8: Matriz de correlação

Variáveis	BTC	ETH	USDT	BNB	GSPC	DJIA	ERNXY	GCF23	USD/EUR
BTC	1								
ETH	0,81	1							
USDT	-0,24	-0,23	1						
BNB	0,67	0,69	-0,21	1					
GSPC	0,35	0,35	-0,30	0,32	1				
DJIA	0,33	0,34	-0,29	0,30	0,97	1			
ERNXY	0,34	0,32	-0,22	0,29	0,68	0,70	1		
GCF23	0,14	0,15	-0,01	0,12	0,15	0,13	0,11	1	
USD/EUR	0,00	0,02	-0,03	0,03	-0,06	-0,06	0,10	-0,09	1

Fonte: Elaboração própria

No caso das criptomoedas, os valores resultantes são tanto positivos como negativos, o que sugere o comportamento singular de cada criptomoeda e um mercado que se mostra inconstante. A correlação entre as criptomoedas e os índices varia entre -0,30 e 0,97, isto indica a existência de multicolinearidade. A correlação entre o Tether e o S&P 500 é a mais baixa e a correlação entre o Dow Jones e o S&P 500 mais elevada. Entre as criptomoedas, a correlação mais elevada é entre a Bitcoin e o Ethereum e a mais baixa entre o Tether e a Bitcoin. É possível observar que a correlação entre as moedas com maior representatividade de capitalização de mercado (Bitcoin e Ethereum) é a mais elevada em comparação com as criptomoedas menos populares. Além disso o valor de 0,81 indica que tendem a movimentar-se na mesma direção.

Como foi detetada a presença de multicolinearidade, foi calculado o fator de inflação da variância que permite quantificar a correlação das variáveis dependentes com as variáveis independentes. O fator de inflação da variância é dado pela seguinte equação:

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \tag{3.1}$$

onde R^2 é o coeficiente de determinação para a regressão da variável independente i nas restantes variáveis.

Se o valor de VIF for igual a 1 verifica-se ausência de multicolinearidade, enquanto um valor maior que 1 indica níveis crescentes de multicolinearidade. Geralmente, um valor de VIF maior que 5 indica multicolinearidade significativa. Através dos valores

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

inscritos na tabela 9, verifica-se que o VIF se encontra abaixo de 2, o que se traduz em valores moderados de correlação. Desta sorte, poderemos afirmar que as criptomoedas não apresentam níveis de colinearidade consideráveis.

Tabela 9: Teste de colinearidade

Estatísticas de colinearidade	BTC	ETH	USDT	BNB
R-quadrado	0,1546	0,1471	0,0979	0,1230
VIF	1,1829	1,1724	1,1085	1,1402

Fonte: Elaboração própria

Em suma, esta análise preliminar permite depreender o seguinte sobre as criptomoedas: uma maior volatilidade comparativamente aos índices, ouro e taxa de câmbio, assimetria e excesso de curtose e autocorrelação entre os retornos e volatilidade.

Estes resultados encontram-se em linha com os estudos realizados por Kumar e Anandarao (2019), Yin *et al.* (2020), Mokni *et al.* (2021), Jiang et al (2021), Chan *et al.* (2018), Beneki *et al.* (2019), Cheikh *et al.* (2019) e Klein *et al.* (2018). Tendo em conta que alguns destes estudos são pré-pandemia, os resultados obtidos através desta dissertação confirmam o comportamento análogo das criptomoedas.

3.1 Bitcoin

A tabela 10 apresenta os resultados dos modelos GARCH para uma distribuição não normal: GARCH normal, GARCH *t-student* e GARCH-GED.

Tabela 10: Resultados dos modelos GARCH – Bitcoin

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,00025	0,00002	0,00003
α	0,1409	0,0307	0,0313
β	0,7715	0,9125	0,8937
RMSE	0,0402	0,0362	0,0362
MLE	818,9344	882,8366	878,5320
d	-	3,2109	-
γ	-	-	0,9452
AIC	-9,4160	-9,5663	-9,5565
BIC	-0,9868	-1,1371	-1,1273

Fonte: Elaboração própria

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Verifica-se que em todos os modelos a condição $\alpha + \beta < 1$ é satisfeita, o que reitera a estacionariedade da série temporal. O termo ARCH (α) expressa o impacto do termo de erro de uma perturbação na volatilidade condicionada do dia seguinte, enquanto o termo GARCH (β) mostra a persistência da volatilidade condicionada no dia seguinte. Os termos calculados através do modelo *t-student* apresentam os valores mais elevados de persistência de volatilidade de entre os três modelos. Como $\alpha < \beta$ para os três modelos, é possível concluir que a persistência de volatilidade no curto prazo é inferior à persistência no longo prazo. Para o modelo GARCH *t-student* o parâmetro α é igual 0,0307, valor que indica que a volatilidade passada tem um impacto moderado na volatilidade futura, ou seja, um choque significativo na flutuação de preços ou um evento mediático inesperado irá ter impacto na volatilidade de curto prazo da Bitcoin. O parâmetro β apresenta um valor de 0,9125, isto significa que a volatilidade passada da Bitcoin tende a persistir ao longo do tempo. Os resultados destes dois parâmetros sugerem que a volatilidade da Bitcoin durante a pandemia apresentou algum grau de persistência e uma velocidade relativamente rápida de reversão média. Tal indicia que os choques na volatilidade desta criptomoeda durante a Covid-19 não se verificaram por períodos prolongados, mas também podem levar algum tempo para se dissiparem.

O RMSE mostra a diferença média entre o valor atual e o valor de previsão da variável dependente. O valor mais baixo irá medir melhor a previsão de volatilidade e especificar se o modelo se ajusta aos dados. O valor mínimo de RMSE foi de 0,0362 e os modelos GARCH GED e GARCH *t-student* apresentaram resultados semelhantes, o valor obtido significa que a previsão de volatilidade da Bitcoin durante a pandemia teve um erro médio de 3,62%.

O valor máximo de log-verosimilhança é obtido através do modelo GARCH *t-student* (882,8366), o que confirma que o modelo *t-student* se ajusta corretamente aos dados. Através dos critérios AIC e BIC, verifica-se que os valores mínimos de entre os três modelos são AIC=-9,5663 e BIC=-1,1371. Através de todos estes indicadores pode-se afirmar que o modelo GARCH *t-student* é o modelo que permite otimizar a estimativa de volatilidade da Bitcoin.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Em suma, os resultados apresentados pelo modelo indicam que a Bitcoin evidenciou persistência de volatilidade de curto prazo, assim como movimentos impulsivos de longo prazo e efeito de manada. O modelo devolveu estimativas precisas de volatilidade e pode ser útil para prever a volatilidade futura. No entanto, é importante referir que os resultados podem ser influenciados pela volatilidade inerente ao mercado onde a Bitcoin se insere.

3.2 Ethereum

A tabela 11 apresenta os resultados dos três modelos GARCH para o Ethereum.

Tabela 11: Resultados dos modelos GARCH - Ethereum

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,0004	0,0002	0,0002
α	0,1528	0,0341	0,0491
β	0,7723	0,8403	0,8188
RMSE	0,0536	0,0482	0,0483
MLE	675,4875	726,5716	720,8455
d	-	3,5477	-
γ	-	-	1,0283
AIC	-9,0309	-9,1767	-9,1608
BIC	-0,6017	-0,7475	-0,7316

Fonte: Elaboração própria

A condição $\alpha + \beta < 1$ é cumprida para os três modelos, o que significa que a série é estacionária. Os termos ARCH (α) e GARCH (β) resultantes do modelo *t-student* apresentam os valores mais elevados de persistência de volatilidade de entre os três modelos. Verifica-se ainda que $\alpha < \beta$ para os três modelos, o que significa que a persistência de volatilidade no curto prazo é inferior à persistência no longo prazo. Para o modelo GARCH *t-student* o parâmetro α é igual 0,0341, o que significa que os resíduos quadrados passados tem um impacto reduzido na previsão da volatilidade futura. O parâmetro β apresenta um valor de 0,8403, o que indica que a volatilidade tende a persistir ao longo do tempo, isto implica que os investidores terão de ser pacientes quando investirem no Ethereum uma vez que os choques de volatilidade podem persistir por um período superior ao que é expectável.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

O valor de RMSE mais baixo indica que os parâmetros estimados apresentam um erro médio de 0,0482 ao prever os valores reais de volatilidade, isto indica que o modelo *t-student* é capaz de captar com precisão a volatilidade do Ethereum durante a pandemia.

O resultado de MLE mais elevado permite aferir qual o modelo que melhor capta as características dos dados observados, sendo que, neste caso, o modelo *t-student* apresenta o valor mais elevado. O valor máximo de log-verosimilhança é obtido através do modelo GARCH *t-student* (726,5716). Os valores mínimos dos critérios AIC e BIC de entre os três modelos são AIC=-9,1767 e BIC=-0,7475. Através destes indicadores pode-se afirmar que, também para o Ethereum, o modelo GARCH *t-student* é o modelo que otimiza a estimativa de volatilidade.

Os resultados obtidos através do GARCH *t-student* mostram que a volatilidade do Ethereum durante a Covid-19 foi altamente persistente, caracterizada por uma distribuição de cauda pesada e propensa a choques de volatilidade prolongados.

3.3 Tether

A tabela 12 apresenta os resultados dos modelos GARCH para o Tether.

Tabela 12: Resultados dos modelos GARCH – Tether

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,00000001	0,00000001	0,000022
α	0,2173	0,5392	-0,0000000007
β	0,7824	0,4601	-0,0000000010
RMSE	0,0043	0,0042	0,0052
MLE	2456,6695	2632,2170	1317,9193
d	-	4,1685	-
γ	-	-	0,3626
AIC	-11,6131	-11,7512	-10,3676
BIC	-3,1839	-3,3219	-1,9384

Fonte: Elaboração própria

Verifica-se que em todos os modelos a condição $\alpha + \beta < 1$ é satisfeita, o que reitera a estacionariedade da série temporal. Por outro lado, a condição $\alpha, \beta > 0$ apenas é cumprida para os modelos GARCH normal e *t-student*, uma vez que não é cumprida para

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

o GARCH GED, isto implica que os resultados da previsão produzida pelo modelo são instáveis. Tanto no modelo GARCH normal como no GARCH *t-student* o parâmetro ω apresenta valor igual de 0,00000001, isto significa que durante o período pandémico a volatilidade do Tether não variou ao longo do tempo. Os termos ARCH (α) e GARCH (β) resultantes do modelo normal apresentam os valores mais elevados de persistência de volatilidade de entre os modelos. O parâmetro α é maior para o modelo *t-student* (0,5392) do que para o modelo normal (0,2173), indicando que eventos extremos tiveram um impacto maior na volatilidade do Tether durante a Covid-19. Por outro lado, β é menor para o modelo *t-student* (0,4601) do que para o modelo normal (0,7824), indicando que a volatilidade tendeu a persistir menos no modelo *t-student*. Através destes parâmetros pode-se afirmar que o Tether apresentou um nível estável de risco com picos ocasionais de volatilidade durante a pandemia, isto é justificado pelo facto desta criptomoeda ser uma *stablecoin* idealizada para manter um valor estável em linha com o dólar americano.

O valor de RMSE é menor para o GARCH *t-student* (0,0042) do que para o GARCH normal (0,0043), indicando que o modelo *t-student* ajusta-se ligeiramente melhor aos dados.

O valor máximo de log-verosimilhança é obtido através do modelo GARCH *t-student* (2632,2170). Os valores mínimos dos critérios AIC e BIC de entre os três modelos são AIC=-11,7512 e BIC=-3,3219, assim verifica-se que o modelo GARCH *t-student* é o modelo que otimiza a estimativa de volatilidade para o Tether.

Estes resultados permitem depreender que a volatilidade do Tether durante a pandemia foi relativamente estável em comparação com a volatilidade geral do mercado de criptomoedas. O modelo *t-student* apresenta o valor de MLE mais alto e uma distribuição leptocúrtica, o que mostra que se verificaram alguns períodos de alta volatilidade que o modelo normal não foi capaz de captar.

3.4 Binance Coin

Através da tabela 13 é possível observar os resultados dos modelos GARCH para a Binance Coin.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Tabela 13: Resultados dos modelos GARCH – Binance Coin

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,0003	0,0002	0,0002
α	0,2023	0,0909	0,1085
β	0,7493	0,7401	0,7479
RMSE	0,0588	0,0534	0,0536
MLE	675,2178	725,7927	720,7448
d	-	3,4002	-
γ	-	-	1,0285
AIC	-9,0301	-9,1745	-9,1606
BIC	-0,6009	-0,7453	-0,7314

Fonte: Elaboração própria

Verifica-se que em todos os modelos a condição $\alpha + \beta < 1$ é satisfeita, o que reitera a estacionariedade da série temporal. Os termos ARCH (α) e GARCH (β) resultantes do modelo normal apresentam os valores mais elevados de persistência de volatilidade de entre os três modelos. Verifica-se que $\alpha < \beta$ para os três modelos, daí conclui-se que a persistência de volatilidade no curto prazo é inferior à persistência no longo prazo. O parâmetro α para o modelo normal é o mais elevado dentre os três modelos, o que sugere que este modelo apresenta uma maior sensibilidade a choques de volatilidade passada. Os valores α mais baixos para os modelos GARCH *t-student* e GARCH GED mostram que os choques de volatilidade passada apresentam um impacto reduzido na volatilidade atual. Isto pode refletir o facto de modelos *t-student* e GED apresentarem caudas mais grossas, o que implica que eventos extremos têm um maior impacto na volatilidade futura do que no modelo normal. Através disto podemos depreender a elevada incerteza e risco de mercado durante a pandemia, uma vez que os investidores reagiram à rápida mudança das condições económicas. O parâmetro β é elevado para todos os modelos GARCH, o que sugere que a volatilidade da Binance durante a Covid-19 exibe forte persistência.

O valor mais baixo de RMSE é de 0,0534, o que indica que o modelo GARCH *t-student* é o modelo que se ajusta melhor aos dados.

O valor máximo de log-verosimilhança é obtido através do modelo GARCH *t-student* (725,7927). Através dos critérios AIC e BIC verifica-se que os valores mínimos de entre

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

os três modelos são AIC=-9,1745 e BIC=-0,7453, daí conclui-se que o GARCH *t-student* permite otimizar a estimativa de volatilidade da Binance Coin.

Os resultados apresentados podem ser úteis para investidores interessados em negociar em Binance, ou para proteção contra a volatilidade, uma vez que se verifica que esta volatilidade tende a persistir ao longo do tempo.

Em suma, é possível observar através dos resultados acima que todas as criptomoedas apresentam comportamentos similares em termos de volatilidade, sendo que para o Ethereum e Binance a volatilidade tende a persistir por períodos prolongados. O Tether é a exceção nesta análise, num período de incerteza de mercado e risco elevado, verificou-se que os investidores preferiram uma opção de investimento em que os retornos eram mais elevados do que o investimento numa moeda com baixo risco e retorno constante.

Os resultados de correlação obtidos nesta dissertação vão em linha com o exposto nas investigações de Özdemir (2022) e de Smales (2021), em que os resultados da matriz de correlação mostram-se próximos. A Bitcoin e o Ethereum apresentam correlação forte sendo que o valor apresentado é o mais elevado de entre todas as criptomoedas. Adicionalmente, o Tether mostra também correlação negativa com todas as criptomoedas, verifica-se também que a volatilidade dos retornos do Tether durante a Covid-19 é mais baixa quando comparada com as outras criptomoedas. Os resultados de Liu (2018) mostram que o Tether apresenta valores negativos de correlação, o que resulta da proximidade a uma moeda tradicional e numa diferenciação da maioria das criptomoedas, as quais se afiguram mais especulativas.

Quanto à correlação entre as criptomoedas e os índices de mercado, confirma-se os resultados apresentados por Jiang *et al.* (2021) em que se regista uma correlação positiva ou a inexistência de correlação entre criptomoedas e índices bolsistas

Os resultados evidenciam ainda a correlação positiva entre as criptomoedas e índices. É possível confirmar também os resultados do estudo de Baur *et al.* (2018) relativamente à correlação forte entre o ouro e a taxa de câmbio. Além disso, a taxa de câmbio está correlacionada com os índices e ouro, ao contrário do sucedido com a Bitcoin que não se encontra correlacionada com esses ativos.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Contrariamente ao disposto no estudo de Mariana *et al.* (2020), não se verifica, na presente dissertação, qualquer correlação negativa da Bitcoin e Ethereum com o S&P 500. Também não se verifica uma correlação negativa entre o ouro e o S&P 500, tal como sugerido por Klein *et al.* (2018). Confirma-se apenas a existência de uma correlação forte entre a Bitcoin e o S&P 500, sendo este, aliás, o índice de mercado que evidencia a correlação mais forte com a Bitcoin, conforme os resultados.

Acresce que os resultados GARCH apresentados nesta dissertação encontram-se em linha com o estudo de Ampountolas (2023), em que a volatilidade de curto prazo foi mais persistente para a Bitcoin, enquanto para o Ethereum verificou-se persistência da volatilidade a curto e longo prazo. Confirma-se, ainda, que a volatilidade do Tether teve menos flutuação do que a Bitcoin e o Ethereum, tal como estabelecido por Yan *et al.* (2022). No entanto, estes autores verificaram que o Ethereum apresenta uma maior volatilidade no curto prazo, algo contrariado pelos resultados obtidos na presente dissertação, onde se verificou uma persistência de volatilidade no curto prazo inferior à persistência no longo prazo. Yousaf e Ali (2020) verificaram um aumento na volatilidade de curto prazo para a Bitcoin e o Ethereum, nesta dissertação apenas se confirma tal facto para a Bitcoin. Os autores referem ainda que a persistência de volatilidade de longo prazo para a Bitcoin e o Ethereum foi elevada. Mais uma vez, no contexto do presente trabalho apenas se pode confirmar este resultado para a Bitcoin. Os resultados apresentados por Ghorbel e Jeribi (2021) indicam que a volatilidade da Bitcoin e Ethereum é altamente persistente e duradoura, algo que nesta dissertação apenas se verifica para o Ethereum. Na investigação de Cerqueti *et al.* (2020) são usados os mesmos três modelos GARCH que nesta dissertação, conduzindo a resultados são muito próximos, porém ligeiramente mais baixos, o que pode ser justificado pelo período pré-pandémico selecionado para análise pelos autores, que indicava estabilidade de mercado. Os resultados dos parâmetros ARCH e GARCH da investigação de Wasiuzzaman e Rahman (2021) são bastante similares para o Ethereum no modelo GARCH normal calculado nesta dissertação.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

3.5 Índices, ouro e taxa de câmbio

3.5.1 S&P 500

Na tabela 14 constam os resultados dos modelos GARCH para o índice S&P 500.

Tabela 14: Resultados dos modelos GARCH – S&P 500

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,000009	0,000004	0,000007
α	0,2677	0,1782	0,2560
β	0,6787	0,7021	0,6849
RMSE	0,0102	0,0099	0,0101
MLE	1570,0703	1593,3251	1587,7328
d	-	5,1366	-
γ	-	-	1,2182
AIC	-10,7178	-10,7472	-10,7401
BIC	-2,2885	-2,3179	-2,3109

Fonte: Elaboração própria

Os valores obtidos para o parâmetro ω são baixos, o que sugere que o índice apresenta volatilidade reduzida no longo prazo. Os valores dos parâmetros α e β indicam que o impacto de curto prazo de choques passados sobre a volatilidade é relativamente baixo, enquanto o impacto de longo prazo é elevado, o que se traduz na persistência de volatilidade ao longo do tempo.

O valor mais elevado de MLE é obtido através do modelo *t-student* (725,7927), e os valores mais baixos para os critérios AIC e BIC são obtidos através do mesmo modelo. Assim, pode-se concluir que o modelo GARCH *t-student* é o que melhor se adequa para estimar a volatilidade do índice S&P 500.

Comparando os parâmetros ω, α e β com as quatro criptomoedas analisadas, é possível verificar que o índice apresenta menor volatilidade do que as criptomoedas. Observam-se valores mais baixos para os parâmetros GARCH mencionados em comparação com os valores obtidos nos parâmetros das criptomoedas. Relativamente ao parâmetro ω, verifica-se que o Tether é o que apresenta o valor mais baixo, e assim, menor volatilidade de entre o conjunto de criptomoedas e comparado com o S&P 500.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Algo que é expectável uma vez que se trata de uma *stablecoin* idealizada para manter retornos estáveis e que tem o dólar americano como garantia. As estimativas para o parâmetro α para a Bitcoin, Ethereum e Binance apresentam valores mais elevados que a estimativa para o S&P 500, o que indica que as criptomoedas são mais sensíveis a choques passados do que o S&P 500. Com exceção do Tether, que apresenta uma estimativa menor e, por conseguinte, menor sensibilidade. As estimativas apresentadas para o parâmetro β das criptomoedas são mais elevadas que as estimativas para o S&P 500, o que indica que a persistência de volatilidade é superior para as criptomoedas comparativamente ao verificado para este índice.

3.5.2 Dow Jones

A tabela 15 apresenta os resultados dos modelos GARCH para o índice Dow Jones.

Tabela 15: Resultados dos modelos GARCH – Dow Jones

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,000008	0,000004	0,000007
α	0,2611	0,1904	0,2623
β	0,6934	0,6999	0,6890
RMSE	0,0110	0,0106	0,0110
MLE	1565,3243	1583,2338	1579,9597
d	-	5,6481	-
γ	-	-	1,2411
AIC	-10,7117	-10,7344	-10,7303
BIC	-2,2825	-2,3052	-2,3011

Fonte: Elaboração própria

Tal como aconteceu para o S&P 500, também para o Dow Jones, os valores do parâmetro ω são baixos, o que sugere que a volatilidade de longo prazo do Dow Jones não é elevada. Relativamente ao parâmetro α, os valores apresentados indicam que retornos passados têm um impacto significativo nas estimativas de volatilidade atual em todos os três modelos. Para o parâmetro β, todos os modelos apresentam valores semelhantes, o que significa que os choques de volatilidade do dia anterior neste índice têm persistência semelhante na volatilidade atual, independentemente do modelo utilizado.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

O modelo *t-student* apresenta o menor valor de RMSE, o maior valor de MLE e os menores valores para os critérios AIC e BIC. Por conseguinte, este modelo é o mais adequado para estimar a volatilidade do índice.

Comparando os resultados do Dow Jones com os resultados das criptomoedas, podemos observar algumas diferenças. Em primeiro lugar, o valor de ω é menor para o Dow Jones, o que indica que a volatilidade média do índice é menor. Isto é algo consistente com o facto de os mercados financeiros tradicionais serem considerados menos voláteis do que o mercado de criptomoedas. Em segundo lugar, as estimativas de α e β para as criptomoedas são mais elevadas do que os resultados dos parâmetros do índice, o que significa que as criptomoedas são mais suscetíveis a choques passados e apresentam maior persistência de volatilidade em comparação com o Dow Jones.

3.5.3 Euronext

A tabela 16 apresenta os resultados dos três modelos GARCH para a Euronext.

Tabela 16: Resultados dos modelos GARCH – Euronext

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,000009	0,000002	0,000004
α	0,1946	0,0885	0,1090
β	0,7568	0,8123	0,7966
RMSE	0,0109	0,0102	0,0103
MLE	1529,8413	1562,5924	1563,6512
d	-	3,6350	-
γ	-	-	1,0511
AIC	-10,6658	-10,7082	-10,7096
BIC	-2,2366	-2,2790	-2,2803

Fonte: Elaboração própria

Os valores obtidos para o parâmetro ω são baixos, o que significa que a volatilidade média deste índice durante a pandemia foi reduzida. Os resultados do parâmetro α e β para os três modelos são elevados, ou seja, choques inesperados tiveram um forte impacto na volatilidade do índice e a volatilidade tendeu a persistir ao longo da pandemia.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Embora os critérios AIC e BIC apresentem valores mais baixos para o modelo GED, o modelo *t-student* apresenta um valor RMSE mais elevado. Adicionalmente, a diferença entre os resultados do indicador MLE do GARCH GED e do GARCH *t-student* é muito reduzida, pelo que se conclui que o modelo *t-student* é o que melhor se adequa para estimar a volatilidade da Euronext.

Em comparação com as criptomoedas, a volatilidade da Euronext é menos suscetível a eventos extremos de mercado, no entanto tende a persistir no curto prazo e reduz lentamente no longo prazo. O índice tem um menor nível de reação a choques passados em comparação com as quatro criptomoedas, mas apresenta uma maior dependência da sua própria volatilidade passada em comparação com a Bitcoin e a Binance, mas menor que o Ethereum e o Tether. Além disso, as criptomoedas exibem uma queda mais rápida de volatilidade a longo prazo em comparação com a Euronext.

3.5.4 Ouro

A tabela 17 apresenta os resultados dos modelos GARCH para o ouro.

Tabela 17: Resultados dos modelos GARCH – Ouro

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,000015	0,000001	0,000003
α	0,1202	0,0186	0,0330
β	0,7698	0,9375	0,8861
RMSE	0,0090	0,0083	0,0083
MLE	1546,8940	1586,0292	1586,0850
d	-	3,0427	-
γ	-	-	0,9986
AIC	-10,6880	-10,7380	-10,7380
BIC	-2,2588	-2,3088	-2,3088

Fonte: Elaboração própria

Os valores estimados para o parâmetro ω nos três modelos são reduzidos, o que significa que o ouro apresenta volatilidade reduzida no longo prazo. Os valores estimados de α são diferentes nos três modelos, com o valor mais alto no modelo normal e o mais baixo no modelo *t-student*, isto significa que o ouro exibiu níveis moderados de volatilidade no curto prazo. Os valores estimados de β são semelhantes nos três modelos,

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

o que indica que a volatilidade do ouro durante a pandemia foi persistente, ou seja, a volatilidade passada teve uma forte influência na volatilidade futura.

Os valores de MLE são mais elevados para os modelos *t-student* e GED, indicando um melhor ajustamento aos dados do ouro. Os valores obtidos através dos critérios AIC e o BIC confirmam que o modelo GARCH GED é o modelo que melhor se ajusta para estimar a volatilidade do ouro.

Em comparação com as criptomoedas, o ouro apresenta o menor valor para o parâmetro ω, seguido por Bitcoin, Ethereum, Tether e Binance, o que indica que o ouro apresenta menor volatilidade de longo prazo, enquanto a Binance apresenta a mais elevada. O ouro apresenta também o maior valor para o parâmetro α, o que se traduz numa maior volatilidade de curto prazo. Para o parâmetro β, o ouro apresenta o valor mais elevado dentre todos os ativos, que sugere que os choques de volatilidade têm um efeito persistente na volatilidade do ouro. A Bitcoin, o Ethereum e a Binance apresentam valores β semelhantes, menores que o ouro e maiores que o Tether.

3.5.5 Taxa de câmbio USD/EUR

A tabela 18 apresenta os resultados dos modelos GARCH para a taxa de câmbio USD/EUR.

Tabela 18: Resultados dos modelos GARCH – Taxa de câmbio USD/EUR

	GARCH (1,1)		
	Normal	***t-student***	**GED**
ω	0,000001	0,000001	0,000002
α	0,0806	0,0536	0,1094
β	0,8655	0,8936	0,8450
RMSE	0,0028	0,0027	0,0032
MLE	2047,5563	2051,4497	2048,8357
d	-	12,0607	-
γ	-	-	1,5675
AIC	-11,2488	-11,2526	-11,2501
BIC	-2,8196	-2,8234	-2,8208

Fonte: Elaboração própria

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Os valores obtidos para o parâmetro ω são reduzidos, o que indica que o nível de volatilidade de longo prazo da taxa de câmbio é baixo. Os valores elevados do parâmetro α, indicam que a taxa de câmbio é altamente suscetível a choques de volatilidade atuais. Para o parâmetro β, todos os valores obtidos são próximos de 1, o que significa que o processo de volatilidade da taxa de câmbio apresenta elevada persistência e que os choques de volatilidade passados têm forte influência na volatilidade presente.

Os modelos *t-student* e GED apresentam valores semelhantes para o indicador RMSE, o mesmo sucedendo para o indicador MLE, sendo que o valor mais elevado é obtido através do modelo GED. Observando os valores obtidos nos critérios AIC e BIC, podemos concluir que o modelo *t-student* é o que, efetivamente, permite estimar melhor a volatilidade da taxa de câmbio USD/EUR.

O parâmetro ω obtido para os três modelos é significativamente menor do que os parâmetros ω das criptomoedas, o que indica uma menor volatilidade da taxa de câmbio. Através do parâmetro α da taxa de câmbio conclui-se que o modelo GED apresenta o valor mais elevado, o que indica que as caudas são mais pesadas para este modelo. Comparativamente com todos os parâmetros α das criptomoedas, que são maiores do que o parâmetro obtido para a taxa, o que significa que as caudas da distribuição são mais pesadas para as criptomoedas. As estimativas do parâmetro β são ligeiramente superiores para a taxa de câmbio, o que indica que a volatilidade passada tem um forte impacto na volatilidade futura. Observa-se uma diferença significativa ao comparar as estimativas do parâmetro α para as criptomoedas relativamente à taxa de câmbio USD/EUR. Os valores obtidos para a taxa de câmbio são baixos em todos os modelos, indicando que o impacto de choques inesperados na volatilidade não é tão expressivo quanto nas criptomoedas. Em contraste, para as quatro criptomoedas, as estimativas de α são mais elevadas, especialmente para o Tether e a Binance, ou seja, choques inesperados têm um impacto mais forte na volatilidade da criptomoeda.

De acordo com os resultados apresentados, foi possível concluir que as criptomoedas que apresentaram maior volatilidade foram a Bitcoin e o Ethereum, em comparação com investimentos tradicionais como S&P 500, Dow Jones, Euronext, ouro e taxa de câmbio

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

USD/EUR. As estimativas do parâmetro ω para a Bitcoin, Ethereum e Binance são superiores ao registado para os ativos tradicionais, o que significa que a volatilidade dos retornos das criptomoedas não é apenas explicada pela volatilidade passada. Através deste parâmetro, confirma-se o facto das criptomoedas apresentarem níveis mais elevados de volatilidade comparativamente com os ativos tradicionais analisados. Além disso, o valor estimado de ω para o Tether foi o mais baixo em comparação com as outras criptomoedas analisadas, o que indica que os choques foram mais constantes e tiveram menos impacto na volatilidade.

Verificou-se uma maior assimetria de volatilidade para as criptomoedas, tal como evidenciado pelos valores obtidos para os parâmetros α que se mostraram mais elevados do que os valores obtidos para os parâmetros β. Além disso, os parâmetros α e β são mais elevados para a Bitcoin e o Ethereum em comparação com os ativos tradicionais, o que significa que os choques de volatilidade têm um maior impacto nos retornos das criptomoedas. O parâmetro β indica ainda que, para todas as criptomoedas, a persistência de choques de volatilidade é elevada.

Os modelos GARCH mostraram ajustar-se melhor aos dados de mercados financeiros tradicionais do que às criptomoedas, conforme evidenciado pelos valores de RMSE mais baixos e valores AIC e BIC mais altos para os modelos de ativos tradicionais.

Em resumo, os resultados dos modelos GARCH sugerem que criptomoedas como a Bitcoin e o Ethereum foram mais voláteis do que os ativos tradicionais durante a pandemia. Embora os ativos tradicionais proporcionaram mais estabilidade de investimento, as criptomoedas ofereceram maiores retornos potenciais devido à sua volatilidade elevada.

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

CONCLUSÃO

A pandemia da Covid-19 trouxe desafios sem precedentes para o mundo, expondo vulnerabilidades nos sistemas de saúde e nos sistemas sociais. Enquanto os mercados financeiros tradicionais sofriam com a volatilidade, algumas criptomoedas eram equacionadas como possíveis ativos de refúgio, tendo-se verificado, durante este período, um forte crescimento no volume de transações. Apesar de terem surgido há mais de uma década, os ativos digitais continuam a ser considerados uma novidade enquanto instrumentos financeiros. Em termos de mercado, a Bitcoin apresenta uma clara predominância, representando mais de 40% das transações efetuadas no mercado de criptomoedas.

Este período conduziu a um aumento da utilização de moedas digitais e tecnologia *blockchain*, justificado, em parte, pelo crescimento de compras online devido ao fecho generalizado do comércio físico e imposição de medidas de distanciamento social. Isto resultou num aumento da procura por criptomoedas e plataformas de finanças descentralizadas (DeFi).

A proposta de investigação do presente trabalho foi estudar a volatilidade dos retornos diários de quatro criptomoedas durante a pandemia da Covid-19. Numa primeira análise – e seguindo os resultados da literatura existente –, os retornos apresentaram uma distribuição leptocúrtica e caudas pesadas. Por isso mesmo, foram calculados três modelos GARCH para uma distribuição não normal: GARCH normal, GARCH *t-student* e GARCH GED.

Os resultados apresentados nesta dissertação proporcionaram uma análise sobre o comportamento da criptomoeda durante a pandemia da Covid-19 e permitem compreender tendências mais amplas no mercado de criptomoedas durante este período. Foi possível verificar o impacto significativo da pandemia na volatilidade das criptomoedas analisadas, na medida em que todas apresentaram comportamentos semelhantes em termos de volatilidade. Os resultados demonstraram que a Bitcoin e o Ethereum apresentaram volatilidade elevada comparativamente com os ativos

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

tradicionais, com maior persistência a choques de volatilidade. O Ethereum e a Binance mostraram persistência de volatilidade numa ótica de longo prazo.

Por seu turno, os resultados obtidos através dos modelos GARCH evidenciaram diferenças significativas entre o comportamento de volatilidade dos ativos tradicionais e das criptomoedas durante a pandemia. A taxa de câmbio USD/EUR apresentou valores reduzidos para os parâmetros, indicando que foi menos afetada por choques inesperados em comparação com as quatro criptomoedas analisadas. Portanto, durante a pandemia da Covid-19, a volatilidade das criptomoedas mostrou-se mais persistente e teve uma resposta mais significativa aos choques de volatilidade passada em comparação com os ativos tradicionais.

No futuro, a eventual regulamentação do setor, escassa no presente, pode implicar a redução da volatilidade no mercado de criptomoedas. Maior regulamentação pode também conduzir ao acréscimo da informação disponível, permitindo decisões de investimento mais sustentadas. Um processo legislativo desta natureza será oportuno de modo a promover a garantia da segurança e a transparência das transações, tendo em vista o aumento da confiança dos investidores neste segmento de mercado. No entanto, importa referir que a redução da volatilidade não é uma meta para todos os agentes do mercado de criptomoedas. Alguns investidores são atraídos pelos potenciais retornos elevados que acompanham a volatilidade, enquanto outros podem usar estratégias para mitigar o risco. Em última análise, a solução para reduzir a volatilidade encontrará acolhimento consoante as necessidades e objetivos dos investidores individuais e do mercado como um todo.

Relativamente a limitações de investigação podemos salientar a ausência de dados relativamente a fins de semana e feriados dos índices, ouro e taxa de câmbio, comparativamente com a criptomoeda que é negociada diariamente.

No que se refere a investigações futuras, seria pertinente cobrir outros períodos, que incluam acontecimentos geopolíticos relevantes, tais como as eleições Presidenciais nos Estados Unidos e no Brasil e, sobretudo, a guerra da Ucrânia, no sentido de escrutinar como os mesmos afetam a volatilidade da criptomoeda e o modo como os investidores reagiram, uma vez afetados por esses eventos. Outro trilho de investigação com interesse

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

– embora sustentado numa metodologia naturalmente diversa da utilizada na presente dissertação – será o de explorar o outro "lado da moeda", ou seja, de avaliar estratégias de investimento para investidores que pretendam criar um portfólio no mercado de criptomoedas, complementando ou não outro tipo de ativos digitais (como, por exemplo, NFTs ou *security tokens*).

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adam, I., & Fazekas, M. (2021). Are emerging technologies helping win the fight against corruption? A review of the state of evidence. Information Economics and Policy, 57, 100950. https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2021.100950

Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, 19(6), 716–723. https://doi.org/10.1109/tac.1974.1100705

Akyildirim, E., Corbet, S., Lucey, B., Sensoy, A., & Yarovaya, L. (2019). The relationship between implied volatility and cryptocurrency returns. Finance Research Letters. https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.06.010

Al-Shboul, M., Assaf, A., & Mokni, K. (2022). Does economic policy uncertainty drive the dynamic spillover among traditional currencies and cryptocurrencies? The role of the COVID-19 pandemic. Research in International Business and Finance, 64, 101824 - 101824. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101824

Ampountolas, A. (2023) The Effect of COVID-19 on Cryptocurrencies and the Stock Market Volatility: A Two-Stage DCC-EGARCH Model Analysis. J. Risk Financial Manag. 16, 25. https://doi.org/10.3390/jrfm16010025

Apergis, N. (2021). COVID-19 and cryptocurrency volatility: Evidence from asymmetric modelling. Finance Research Letters, 47, 102659 - 102659. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102659

Autoridade Tributária (2015), Processo: nº 5717/2015. Disponível em https://info.portaldasfinancas.gov.pt/pt/informacao_fiscal/informacoes_vinculativas/rendimento/cirs/Documents/PIV_09541.pdf

Autoridade Tributária, Processo: nº 14910. Disponível em https://info.portaldasfinancas.gov.pt/pt/informacao_fiscal/informacoes_vinculativas/despesa/civa/Documents/INFORMACAO_14910.pdf

Banco de Portugal (2021), Disponível em https://www.bportugal.pt/comunicado/banco-de-portugal-reitera-alertas-aos-consumidores-sobre-riscos-associados-aos-ativos

Baur, D. G., & Hoang, L. T. (2021). A crypto safe haven against Bitcoin. Finance Research Letters, 38, 101431. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101431

Baur, D. G., Dimpfl, T., & Kuck, K. (2018). Bitcoin, gold and the US dollar – A replication and extension. Finance Research Letters, 25, 103–110. https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.10.012

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Beneki, C., Koulis, A., Kyriazis, N. A., & Papadamou, S. (2019). Investigating volatility transmission and hedging properties between Bitcoin and Ethereum. Research in International Business and Finance, 48, 219–227. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.01.001

Bera, A. K., & Jarque, C. M. (1981). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. Economics Letters, 7(4), 313–318. https://doi.org/10.1016/0165-1765(81)90035-5

Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. Journal of Econometrics, 31(3), 307–327. https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1

Bouri, E., Gupta, R., Tiwari, A. K., & Roubaud, D. (2017b). Does Bitcoin hedge global uncertainty? Evidence from wavelet-based quantile-in-quantile regressions. Finance Research Letters, 23, 87–95. https://doi.org/10.1016/j.frl.2017.02.009

Bouri, E., Molnár, P., Azzi, G., Roubaud, D., & Hagfors, L. I. (2017a). On the hedge and safe haven properties of Bitcoin: Is it really more than a diversifier? Finance Research Letters, 20, 192–198. https://doi.org/10.1016/j.frl.2016.09.025

Box, G.E.P. & Pierce, D.A. (1970) Distribution of Residual Autocorrelations in Autoregressive Integrated Moving Average Time Series Models. Journal of the American Statistical Association, 65, 1509-1526. https://doi.org/10.1080/01621459.1970.10481180

Bucko, Jozef & Palová, Dana & Vejačka, Martin. (2015). Security and Trust in Cryptocurrencies. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/317955860_Security_and_Trust_in_Cryptocurrencies

Cao, Guangxi & Wenhao, Xie. (2022). Asymmetric dynamic spillover effect between cryptocurrency and China's financial market: Evidence from TVP-VAR based connectedness approach. Finance Research Letters. 49. 103070. https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103070.

Chan, W. H., Le, M., & Wu, Y. W. (2018). Holding Bitcoin longer: The dynamic hedging abilities of Bitcoin. The Quarterly Review of Economics and Finance. https://doi.org/10.1016/j.qref.2018.07.004

Cheikh, N. B., Zaied, Y. B., & Chevallier, J. (2019). Asymmetric Volatility in Cryptocurrency Markets: New evidence from Smooth Transition GARCH Models. Finance Research Letters. https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.09.008

Choi, S., & Shin, J. (2021). Bitcoin: An inflation hedge but not a safe haven. Finance Research Letters, 102379. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102379

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Conlon, T., & McGee, R. (2020). Safe haven or risky hazard? Bitcoin during the Covid-19 bear market. Finance Research Letters, 35, 101607. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101607

Conlon, T., Corbet, S., & McGee, R. J. (2020). Are Cryptocurrencies a Safe Haven for Equity Markets? An International Perspective from the COVID-19 Pandemic. Research in International Business and Finance, 101248. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101248

Corbet, S., Cumming, D. J., Lucey, B. M., Peat, M., & Vigne, S. A. (2019). The destabilising effects of cryptocurrency cybercriminality. Economics Letters, 108741. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2019.108741

Corbet, S., Hou, Y., Hu, Y., Larkin, C., Lucey, B.M., & Oxley, L. (2021). Cryptocurrency liquidity and volatility interrelationships during the COVID-19 pandemic. Finance Research Letters, 45, 102137 - 102137. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102137

Corbet, S., Larkin, C., & Lucey, B.M. (2020). The contagion effects of the COVID-19 pandemic: Evidence from gold and cryptocurrencies. Finance Research Letters, 35, 101554 - 101554. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101554

Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. Economics Letters, 165, 28–34. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.01.004

Diffie, W., & Hellman, M. (1976). New directions in cryptography. IEEE Transactions on Information Theory, 22(6), 644–654. https://doi.org/10.1109/tit.1976.1055638

Dwita Mariana, C., Ekaputra, I. A., & Husodo, Z. A. (2020). Are Bitcoin and Ethereum Safe-Havens for Stocks during the Covid-19 Pandemic? Finance Research Letters, 101798. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101798

Dyhrberg, A. H. (2016). Bitcoin, gold and the dollar – A GARCH volatility analysis. Finance Research Letters, 16, 85–92. https://doi.org/10.1016/j.frl.2015.10.008

Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. Econometrica, 50(4), 987. https://doi.org/10.2307/1912773

Fang, T., Su, Z., & Yin, L. (2020). Economic fundamentals or investor perceptions? The role of uncertainty in predicting long-term cryptocurrency volatility. International Review of Financial Analysis, 101566. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101566

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Foley, S., Karlsen, J. R., & Putniņš, T. J. (2019). Sex, Drugs, and Bitcoin: How Much Illegal Activity Is Financed through Cryptocurrencies? The Review of Financial Studies, 32(5), 1798–1853. https://doi.org/10.1093/rfs/hhz015

Gandal, N., Hamrick, J., Moore, T., & Oberman, T. (2018). Price manipulation in the Bitcoin ecosystem. Journal of Monetary Economics, 95, 86–96. https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2017.12.004

Ghorbel, A., & Jeribi, A. (2021a). Volatility spillovers and contagion between energy sector and financial assets during COVID-19 crisis period. Eurasian Economic Review, 11(3), 449–467. https://doi.org/10.1007/s40822-021-00181-6

Ghorbel, A., & Jeribi, A. (2021b). Investigating the relationship between volatilities of cryptocurrencies and other financial assets. Decisions in Economics and Finance. https://doi.org/10.1007/s10203-020-00312-9

Gil-Alana, L. A., Aikins Abakah, E. J., & Rojo, M. F. R. (2019). CRYPTOCURRENCIES AND STOCK MARKET INDICES. ARE THEY RELATED? Research in International Business and Finance, 101063. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.101063

Hussain Shahzad, S. J., Bouri, E., Roubaud, D., & Kristoufek, L. (2019b). Safe haven, hedge and diversification for G7 stock markets: Gold versus bitcoin. Economic Modelling. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.07.023

Ji, Q., Zhang, D., & Zhao, Y. (2020). Searching for safe-haven assets during the COVID-19 pandemic. International Review of Financial Analysis, 71, 101526. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101526

Jiang, Y., Lie, J., Wang, J., & Mu, J. (2021). Revisiting the roles of cryptocurrencies in stock markets: A quantile coherency perspective. Economic Modelling, 95, 21–34. https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.12.002

Kakinaka, S., & Umeno, K. (2021). Cryptocurrency market efficiency in short- and long-term horizons during COVID-19: An asymmetric multifractal analysis approach. Finance Research Letters. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102319

Klein, T., Pham Thu, H., & Walther, T. (2018). Bitcoin is not the New Gold – A comparison of volatility, correlation, and portfolio performance. International Review of Financial Analysis, 59, 105–116. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.07.010

Kumar, A.S., & Anandarao, S. (2019). Volatility spillover in crypto-currency markets: Some evidences from GARCH and wavelet analysis. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.154

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Kwiatkowski, D., Phillips, P. C. B., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. Journal of Econometrics, 54(1-3), 159–178. https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-y

Kyriazis, N.A., Daskalou, K., Arampatzis, M., Prassa, P., & Papaioannou, E. (2019). Estimating the volatility of cryptocurrencies during bearish markets by employing GARCH models. Heliyon, 5. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02239

Liu, W. (2018). Portfolio diversification across cryptocurrencies. Finance Research Letters. https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.07.010

Ljung, G. M., & Box, G. E. P. (1978). On a measure of lack of fit in time series models. Biometrika, 65(2), 297–303. https://doi.org/10.1093/biomet/65.2.297

Melki, A., & Nefzi, N. (2021). Tracking safe haven properties of cryptocurrencies during the COVID-19 pandemic: A smooth transition approach. Finance Research Letters, 46, 102243 - 102243. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102243

Mokni, K., Youssef, M., & Ajmi, A.N. (2021). COVID-19 pandemic and economic policy uncertainty: The first test on the hedging and safe haven properties of cryptocurrencies. Research in International Business and Finance, 60, 101573 - 101573. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101573

Naeem, M.A., Bouri, E., Peng, Z., Shahzad, S.J., & Vo, X.V. (2020). Asymmetric efficiency of cryptocurrencies during COVID19. Physica a, 565, 125562 - 125562. https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.125562

Naeem, M.A., Mbarki, I., Alharthi, M., Omri, A., & Shahzad, S.J. (2021). Did COVID-19 Impact the Connectedness Between Green Bonds and Other Financial Markets? Evidence From Time-Frequency Domain With Portfolio Implications. Frontiers in Environmental Science. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.657533

Nakamoto, S. (2008) Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

Nitithumbundit, T., & Chan, J.S. (2022). Covid-19 impact on Cryptocurrencies market using Multivariate Time Series Models. The Quarterly Review of Economics and Finance. https://doi.org/10.1016/j.qref.2022.08.006

Özdemir, O. (2022). Cue the volatility spillover in the cryptocurrency markets during the COVID-19 pandemic: evidence from DCC-GARCH and wavelet analysis. Financial Innovation, 8. https://doi.org/10.1186/s40854-021-00319-0

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Salisu, A. A., & Ogbonna, A. E. (2021). The return volatility of cryptocurrencies during the COVID-19 pandemic: Assessing the news effect. Global Finance Journal, 100641. https://doi.org/10.1016/j.gfj.2021.100641

Schwab, K. (2016) The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum.

Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. The Annals of Statistics, 6(2), 461–464. https://doi.org/10.1214/aos/1176344136

Schwert, G. W. (1989). Tests for Unit Roots: A Monte Carlo Investigation. Journal of Business & Economic Statistics, 7(2), 147–159. https://doi.org/10.1080/07350015.1989.10509723

Shahzad, S. J. H., Bouri, E., Roubaud, D., Kristoufek, L., & Lucey, B. (2019a). Is Bitcoin a better safe-haven investment than gold and commodities? International Review of Financial Analysis. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2019.01.002

Sharif, A., Aloui, C., & Yarovaya, L. (2020). COVID-19 pandemic, oil prices, stock market, geopolitical risk and policy uncertainty nexus in the US economy: Fresh evidence from the wavelet-based approach. International Review of Financial Analysis, 101496. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101496

Smales, L. A. (2018). Bitcoin as a safe haven: Is it even worth considering? Finance Research Letters. https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.11.002

Smales, L.A. (2021). Volatility Spillovers among Cryptocurrencies. Journal of Risk and Financial Management. https://doi.org/10.3390/jrfm14100493

Stensås, A., Nygaard, M. F., Kyaw, K., & Treepongkaruna, S. (2019). Can Bitcoin be a diversifier, hedge or safe haven tool? Cogent Economics & Finance, 0(0). https://doi.org/10.1080/23322039.2019.1593072

Syuhada, K., Hakim, A.R., Suprijanto, D., Muchtadi-Alamsyah, I., & Arbi, L. (2022). Is Tether a safe haven of safe haven amid COVID-19? An assessment against Bitcoin and oil using improved measures of risk. Resources Policy, 79, 103111 - 103111. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103111

Umar, Z., Jareño, F., & González, M.D. (2021). The impact of COVID-19-related media coverage on the return and volatility connectedness of cryptocurrencies and fiat currencies. Technological Forecasting and Social Change, 172, 121025 - 121025. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121025

Uzonwanne, G. (2021). Volatility and return spillovers between stock markets and cryptocurrencies. The Quarterly Review of Economics and Finance, 82, 30–36. https://doi.org/10.1016/j.qref.2021.06.018

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt

Walther, T., Klein, T., & Bouri, E. (2019). Exogenous Drivers of Bitcoin and Cryptocurrency Volatility – A Mixed Data Sampling Approach to Forecasting. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money, 101133. https://doi.org/10.1016/j.intfin.2019.101133

Wasiuzzaman, S., & Haji Abdul Rahman, H. S. W. (2021). Performance of gold-backed cryptocurrencies during the COVID-19 crisis. Finance Research Letters, 101958. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.101958

Wilson, C. (2019). Cryptocurrencies: The Future of Finance? Contemporary Issues in International Political Economy, 359–394. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6462-4_16

Yan, K., Yan, H., & Gupta, R. (2022). Are GARCH and DCC Values of 10 Cryptocurrencies Affected by COVID-19? Journal of Risk and Financial Management. https://doi.org/10.3390/jrfm15030113

Yin, L., Nie, J., & Han, L. (2021). Understanding cryptocurrency volatility: The role of oil market shocks. International Review of Economics & Finance, 72, 233-253. https://doi.org/10.1016/j.iref.2020.11.013

Yousaf, I., & Ali, S. (2020). The COVID-19 outbreak and high frequency information transmission between major cryptocurrencies: Evidence from the VAR-DCC-GARCH approach. Borsa Istanbul Review, 20, S1–S10. https://doi.org/10.1016/j.bir.2020.10.003

Coimbra Business School | ISCAC
Quinta Agrícola – Bencanta, 3045-601 Coimbra
Tel +351 239 802 000; E-mail: secretariado@iscac.pt; www.iscac.pt