

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE CONTABILIDADE E ADMINISTRAÇÃO DE LISBOA



**Ouro vs bitcoin: como refúgios seguros durante crises (pandemia
covid19, conflito Ucrânia-Rússia)**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Análise Financeira

Elaborado por: Cláudia Nunes Matias nº20230836

Orientadora: Doutora Professora Sónia Bentes

Lisboa, dezembro de 2025

INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE CONTABILIDADE E ADMINISTRAÇÃO DE LISBOA

OURO VS BITCOIN: COMO REFÚGIOS SEGUROS DURANTE CRISES
(PANDEMIA COVID19, CONFLITO UCRÂNIA-RÚSSIA)

Cláudia Nunes Matias

Dissertação submetida ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Lisboa para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Análise Financeira, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Sónia Margarida Ricardo Bentes.

Constituição do Júri:

Presidente: Doutor Ricardo Soares

Arguente: Doutor Ricardo Correia

Orientador: Doutora Sónia Bentes

Lisboa, dezembro de 2025

Agradecimentos:

Agradecer a minha professora e orientadora, pelo seu apoio e tempo que dedicou na elaboração da minha dissertação, sem o seu acompanhamento não seria possível realizar este trabalho de investigação.

À minha família e amigos, que sempre me apoiaram durante todo o processo e me deram forças para continuar e assim conseguir concretizar todos os meus objetivos.

RESUMO

Neste estudo analisamos a importância do ouro e da *bitcoin* como proteção nos mercados financeiros. Começando por realizar a revisão de literatura para entender o contexto histórico dos dois ativos e compreender a utilização dos mesmos como investimento. Analisamos a entrada da *bitcoin* e se a mesma teve algum impacto no uso do ouro, perceber a evolução dos dois ativos e se são refúgios seguros durante crises financeiras. Neste estudo é compreendido um período de dez anos, onde se verificam duas grandes crises com grande impacto, a pandemia covid-19 e o conflito armado Ucrânia-Rússia.

Com o presente estudo, pretende-se analisar se o ouro e a *bitcoin* possuem características de refúgio seguro durante momentos perturbadores nos mercados financeiros. Perceber se a *bitcoin* teve alguma influência na utilização do ouro como investimento.

Para tal, são analisadas as rendibilidades diárias de cinco ativos. Realizados os testes ADF, ARCH-LM, Ljung-Box, Breusch Godfrey, teste KPSS, com o objetivo de validar a adequação e a robustez das séries temporais. Para analisar a volatilidade dos ativos são calculados os modelos GARCH e EGARCH.

Os resultados mostram que a *bitcoin* não atua como refúgio seguro em períodos de crise, apresentando elevada volatilidade e forte sensibilidade a choques negativos. O ouro revelou maior estabilidade, reagindo de forma mais moderada às perturbações dos mercados, aproximando-se do conceito de ativo refúgio, embora não totalmente isento de risco. A contribuição do estudo reside na análise comparativa destes ativos durante crises recentes, fornecendo evidência empírica atual para decisões de investimento financeiro internacional.

Palavras-chave: Refúgio seguro, ouro, *bitcoin*, volatilidade

Abstract

In this study, we analyze the importance of gold and bitcoin as protection in financial markets. We begin by reviewing the literature to understand the historical context of the two assets and understand their use as investments. We analyze the entry of bitcoin and whether it had any impact on the use of gold, understand the evolution of the two assets, and whether they are safe havens during financial crises. This study covers a ten-year period, during which there were two major crises with a significant impact: the COVID-19 pandemic and the Ukraine-Russia armed conflict.

The aim of this study is to analyze whether gold and bitcoin have safe haven characteristics during times of turmoil in the financial markets. To understand whether bitcoin had any influence on the use of gold as an investment.

To this end, the daily returns of five assets are analyzed. ADF, ARCH-LM, Ljung-Box, Breusch Godfrey, and KPSS tests are performed to validate the adequacy and robustness of the time series. To analyze the volatility of the assets, GARCH and EGARCH models are calculated.

The results show that Bitcoin does not act as a safe haven during periods of crisis, displaying high volatility and strong sensitivity to negative shocks. Gold exhibited greater stability, reacting more moderately to market disturbances and thus approaching the concept of a safe-haven asset, although not entirely risk-free. The contribution of this study lies in the comparative analysis of these assets during recent crises, providing up-to-date empirical evidence to support international financial investment decisions.

Keywords: Safe haven, gold, bitcoin, volatility

Índice:

1.	Introdução	1
2.	Revisão de Literatura	3
2.1.	Conceito e Características de Refúgio Seguro (Safe-haven).....	3
2.2.	História e Características da Bitcoin	4
2.3.	Volatilidade da Bitcoin	5
2.4.	Desempenho da Bitcoin e do Ouro durante crises.....	6
2.5.	Limitações e Controvérsias da Bitcoin	9
2.6.	Comparação com outros ativos	10
2.6.1.	Bitcoin vs ativos tradicionais	10
2.6.2.	Bitcoin vs Ouro	11
2.6.3.	Ouro vs ações e obrigações	11
2.6.4.	Ouro vs petróleo	11
2.7.	História e Características do Ouro.....	12
2.8.	Ouro como Ativo Histórico de Refúgio	13
2.9.	Limitações e Críticas do Ouro	15
3.	Dados e Metodologia	17
3.1.	Modelo GARCH.....	17
3.2.	Modelo E-GARCH	19
4.	Resultados Obtidos.....	21
4.1.	Evolução do preço dos ativos.....	21
4.2.	Análise das estatísticas das séries de rendibilidades	24
4.3.	Teste de estacionariedade – ADF (Augmented Dickey – Fuller)	26
4.4.	Teste ARCH-LM (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity – Lagrange Multiplier)	26
4.5.	Estimação do modelo GARCH (1,1).....	27
4.5.1.	Teste de Ljung-Box.....	29
4.5.2.	Teste de Breusch Godfrey	29
4.5.3.	Teste KPSS	30
4.6.	Estimação do modelo E-GARCH.....	31
5.	Conclusão	34
6.	Referências Bibliográficas.....	36
7.	Anexos:.....	41
7.1.	Resultados Modelo GARCH(1,1).....	41
7.2.	Resultados modelo E-GARCH	43
7.3.	Resultados das estatísticas das séries de rendibilidades	45

7.4.	Resultados do teste ADF	46
7.5.	Resultados do teste Ljung-Box.....	51
7.6.	Resultados do teste Breusch-Godfrey	53
7.7.	Resultados do teste KPSS	56
7.8.	Resultados do Teste LM-ARCH.....	61

Lista de Siglas

EUA - Estados Unidos da América

SWIFT - *Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication* (Rede internacional de comunicação segura usada entre bancos para transferências financeiras)

XAU - Código internacional para o ouro

US - Estados Unidos

USD – Dolár americano

BTC – *Bitcoin*

GARCH – Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva Generalizada

EGARCH – Modelo GARCH exponencial

ADF – Teste Dickey-Fuller Aumentado

ARCH-LM – Teste LM de Engle para Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva

Índice de Tabelas

Tabela 1: Estatísticas descritivas.....	24
Tabela 2: Testes de <i>Skewness</i> e <i>Kurtosis</i>	25
Tabela 3: Test Augmented <i>Dickey-Fulley</i>	26
Tabela 4: Teste ARCH-LM.....	27
Tabela 5: Resultados da estimação do modelo GARCH(1,1).....	27
Tabela 6: Resultados do teste <i>Ljung-Box</i>	29
Tabela 7: Resultados do teste <i>Breusch Godfrey</i>	30
Tabela 8: Resultados do teste KPSS.....	31
Tabela 9: Resultados do modelo E-GARCH.....	32

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Evolução do preço da bitcoin.....	21
Gráfico 2: Evolução do preço do ouro.....	22
Gráfico 3: Evolução do preço do Euro Stoxx50.....	22
Gráfico 4: Evolução do preço do FTSE100.....	23
Gráfico 5: Evolução do preço do S&P 500.....	24

1. Introdução

A presente Proposta de Dissertação, sob orientação da Professora Doutora Sónia Bentes, é realizada no âmbito do Mestrado em Análise Financeira, na instituição Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Lisboa (ISCAL).

Nas últimas décadas, tem se assistido a uma grande mudança nos mercados financeiros. Uma das grandes mudanças verificada é o surgimento das moedas virtuais, também designadas como criptomoedas, cuja característica principal é a utilização de tecnologias criptográficas e de redes distribuídas para garantir segurança e transparência nas transações.

Uma das primeiras e mais conhecidas é a *bitcoin*, apresentada em 2008 por Satoshi Nakamoto e oficialmente lançada em 2009. A sua entrada e de outras criptomoedas nos mercados financeiros trouxe novas oportunidades e desafios.

Bitcoin evoluiu de uma experiência técnica para um ativo financeiro globalmente relevante, caracterizado por alta volatilidade e crescente investigação académica sobre o seu papel como instrumento financeiro (Kang et al., 2025).

Atualmente, a Bitcoin representa uma das maiores classes de ativos por capitalização de mercado, sendo objeto de discussão tanto como reserva de valor quanto como ativo especulativo nos mercados financeiros contemporâneos (El Pais, 2025).

O ouro é um dos ativos financeiros mais antigo e relevante da história económica a nível global, durante séculos e até aos dias de hoje tem vindo a desempenhar funções como meio de troca, reserva de valor e instrumento de proteção contra incertezas.

O ouro não possui a capacidade de gerar rendimento direto, como ocorre com os juros ou os dividendos, contudo preserva o seu valor ao longo do tempo, nomeadamente durante momentos de crise financeira e períodos de incerteza económica. O retorno real do ouro no longo prazo é um pouco baixo, mas desempenha um papel seguro contra eventos extremos (Jermann, 2023).

Um ativo de refúgio seguro (*safe haven*) é definido como um instrumento financeiro que mantém ou aumenta o seu valor durante períodos de instabilidade nos mercados financeiros, apresentando baixa ou negativa correlação com ativos de risco em momentos de stress extremo.

A presente investigação tem como objetivo perceber se a bitcoin e o ouro são refúgios seguros durante momentos de crise, nomeadamente durante a pandemia Covid-19 e o conflito armado Ucrânia-Rússia. Sendo esta a principal questão de investigação. E também perceber se será mais seguro investir na bitcoin ou no ouro. O objetivo desta dissertação foca-se nestas duas questões de investigação.

Para o estudo serão utilizados os modelos GARCH e ECARCH. Sendo que o modelo GARCH permite modelar a heterocedasticidade condicional, com o objetivo de capturar a persistência da volatilidade, comum nos ativos financeiros. O modelo EGARCH, é uma extensão do modelo anterior, e permite capturar efeitos assimétricos na volatilidade.

Em termos de organização a presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos. Começando por uma breve introdução, o segundo capítulo é constituído pela revisão de literatura, onde é abordado o conceito de refúgio seguro, do ouro, da bitcoin e mais alguns pontos fundamentais para a melhor compreensão do tema abordado. O terceiro capítulo apresenta uma breve descrição dos modelos utilizados na análise e dos dados utilizados. O capítulo quatro corresponde a apresentação dos resultados obtidos. Por fim, a conclusão onde serão abordados os resultados obtidos através da aplicação dos modelos e dos testes realizados e também serão abordadas as limitações.

2. Revisão de Literatura

2.1. Conceito e Características de Refúgio Seguro (*Safe-haven*)

Baur e Lucey (2010) definem um refúgio seguro como sendo um ativo que tem tendência a manter ou aumentar o seu valor durante períodos de instabilidade nos mercados, apresentando correlação nula ou negativa com ativos de risco.

Baur e McDermott (2010) definem um refúgio seguro como sendo um lugar de segurança e abrigo em tempos de instabilidade financeira nos mercados financeiros. Um ativo de refúgio seguro deve ser um ativo que mantém o seu valor durante tempos de instabilidade nos mercados. Este ativo oferece aos investidores a oportunidade de proteger a sua riqueza e património em caso de condições adversas no mercado. Os autores encontram evidências de que os efeitos de refúgios seguros na sua maioria só se verificam em mercados desenvolvidos e não em mercados ainda em desenvolvimento.

Baur et al. (2010) argumentam que um porto seguro fraco protege os investidores apenas na medida em que não se movimenta em sintonia com outros ativos durante choques negativos do mercado. Enquanto um porto seguro forte tem um comportamento oposto ao dos demais ativos em períodos de crise, contribuindo assim para a redução das perdas totais enfrentadas pelos investidores.

A seleção de ativos de refúgio seguro em cenários de conflitos geopolíticos constitui uma decisão estratégica complexa, onde o investidor tem como objetivo preservar o seu capital e obter retornos ajustados ao risco. A evidência empírica sugere que a natureza dinâmica e adaptativa dos ativos, especialmente durante períodos de elevada volatilidade e incerteza, desempenha um papel de extrema importância na determinação da sua classificação como *safe-haven* (Pastén-Henríquez, Griñen & Velásquez, 2025).

Os mercados financeiros por conta da sua natureza são caracterizados por elevada incerteza e exposição a riscos. Tornando-se assim importante a adoção de estratégias para diminuir o risco. Podem-se identificar dois objetivos principais na gestão do risco financeiro: o primeiro é a redução de risco de investimento e o segundo é a preservação do património contra a volatilidade extrema. O primeiro é chamado de *hedge* e o segundo de refúgio seguro. Os ativos de refúgio seguro são procurados durante momentos de crise extremas, tais como guerras, pandemias ou choques globais repentinos (Acikgoz, 2025).

2.2. História e Características da Bitcoin

Segundo Böhme, Christin, Edelman e Moore (2015), as regras da bitcoin foram desenvolvidas com base em princípios de engenharia informática, sem intervenção de juristas ou reguladores, sendo fundamentada por um registo descentralizado de transações (blockchain), distribuído por uma rede de computadores. Este sistema (blockchain) inclui incentivos que promovem a utilização legítima dos utilizadores, sendo que favorece a adesão inicial ao protocolo e limita a concentração de poder. Para além disso, a sua estrutura permite que existiam irreversibilidades nas transações, tendo uma emissão controlada da moeda ao longo do tempo e a total transparência do histórico das transações.

A Bitcoin foi a primeira criptomoeda a ser criada, surgiu no ano de 2009 e desde aí rapidamente ganhou destaque, devido ao facto de ser um sistema totalmente descentralizado, sem autoridade central para validar ou liquidar transações. É baseada em criptografia e num sistema de incentivos inovador, controla as transações, gere a oferta monetária e previne fraudes através do processo denominado “mineração” (Gandal & Halaburda, 2016).

A bitcoin tem interesse para os economistas como uma moeda virtual, tendo o potencial de revolucionar sistemas de pagamentos já existentes, e talvez também sistemas monetários. Mesmo no seu momento inicial, as moedas virtuais fornecem uma variedade *insights* sobre o design de mercados e o comportamento dos compradores e vendedores (Böhme, *et al.*, 2015).

Desde o seu lançamento em 2009, o desenvolvimento da bitcoin tem sido caótico. No dia 10 de abril de 2013 sofreu uma queda de 61%, em 2017 passou de 1.000 dólares americanos para 20.000 dólares americanos. Durante 2018, o seu preço foi descendo, atingindo em novembro os 3.500 dólares americanos. Em 2021, subiu drasticamente atingindo os 61.000 dólares americanos em abril e em apenas 20 dias perdeu 41% do seu valor, atingindo os 34.000 dólares americanos (Janson & Karoubi, 2021).

Uma das questões que se impõem em relação a bitcoin é se a mesma é um ativo financeiro. Com a utilização dos modelos econométricos GARCH e EGARCH, a autora conclui que a bitcoin apresenta muitas semelhanças com o ouro e com o dólar. A bitcoin possui características de meio de troca claras e reage significativamente à taxa de fundos federais, características que mostram que a bitcoin atua como moeda. Contudo devido ao facto de a bitcoin ser descentralizada e amplamente desregulamentada, não tem um comportamento exatamente igual as restantes moedas do mercado. A autora

ainda verifica que as características da bitcoin são semelhantes as do ouro, devido ao facto de reagirem a variáveis semelhantes no modelo GARCH, a bitcoin e o ouro possuem capacidades de *hedge* semelhantes reagem de forma simétrica a boas e más notícias. Contudo no caso da bitcoin a frequência pode ser maior, pelo facto das negociações serem mais rápidas e as reações ao sentimento do mercado serem rápidas. No geral os resultados sugerem que a bitcoin está entre ser uma moeda e uma *commodity* (Dyhrberg, 2016).

2.3. Volatilidade da Bitcoin

Klein, Thu e Walther (2018) providenciam, através da sua modelação de correlação, evidências de que o comportamento da Bitcoin é completamente diferente do ouro, nomeadamente em tempos de tensão nos mercados. Os autores confirmam a propriedade de *safe-haven* no ouro, enquanto a bitcoin apresenta um efeito de correlação positivo e com tendência a desvalorizar quando ocorrem quedas extremas no mercado. Assim, do ponto de vista econométrico, o Bitcoin não evidencia propriedades comparáveis às de qualquer ativo financeiro convencional.

Os autores investigam a relação dinâmica entre a Bitcoin, ouro e os mercados de ações americanos durante a pandemia do Covid-19. Para esta modelagem das interações e da heterocedasticidade condicional, são usados os modelos VAR (Vetores Autorregressivos) combinados com DCC-EGARCH (Dynamic Conditional Correlation-Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) e a sua extensão baseada em redes neurais artificiais (VAR-DCC-EGARCH-ANN). Os autores concluem que em períodos de menor incerteza, a bitcoin apresenta fraca correlação condicional com os ativos tradicionais, o que reforça sua caracterização como um ativo não correlacionado e potencial diversificador de portfólio. Contudo, a partir do primeiro trimestre de 2020, verifica-se uma sincronização crescente entre a bitcoin, os mercados dos acionistas e do ouro, evidenciando assim um processo de contágio financeiro induzido pela crise provocada pela pandemia do covid-19 (Terraza, Ipek & Rounaghi, 2024).

Os investimentos na moeda Bitcoin apresentam significativamente menor liquidez quando são comparados com os ativos tradicionais, o que poderá resultar em perda de interesse por parte dos investidores institucionais e individuais. Contudo, a sua acessibilidade poderá melhorar bastante com o aparecimento de potenciais fundos e derivados financeiros associados. Do ponto de vista empírico, os autores concluem que a bitcoin não é um refúgio seguro contra quedas extremas de nenhum dos ativos (índices de ações dos EUA, Europa, Ásia e ainda o ouro, petróleo, *commodities*,

obrigações e índice do dólar), é um diversificador eficaz contra ações e *commodities*, e ainda concluem que a alta volatilidade da bitcoin dificulta o seu uso como refúgio seguro durante tempos de stress nos mercados financeiros (Bouri, Molnár, Azzi, Roubaud & Hagfors, 2017).

Os autores analisam a relação entre os retornos e a volatilidade da Bitcoin, a incerteza política e diversas medidas de incerteza nos mercados financeiros. Concluem que a ligação entre os retornos da bitcoin e diversas medidas de incerteza sofre maior imprevisibilidade durante momentos de crise nos mercados financeiros, nomeadamente a crise da dívida soberana europeia, a pandemia de COVID-19 e o conflito Rússia–Ucrânia. Verificam também que os retornos e a volatilidade da bitcoin têm de forma consistente atuado como recetores de informação, sendo que a incerteza política é o principal transmissor de choques para o mercado da bitcoin. Com base nestes resultados, conclui-se então que bitcoin pode atuar como um instrumento de *hedge* ou refúgio seguro perante a incerteza do mercado financeiro (Chen, Chiu, Chung & Lien, 2024).

A bitcoin funciona simultaneamente como ativo especulativo e como meio de pagamento, fatores que influenciam a volatilidade da bitcoin, tornando-a elevada. A volatilidade da bitcoin é determinada essencialmente pelo aumento da atividade de *traders* de retalho, afetando a volatilidade contínua e pela procura do anonimato, o que afeta a volatilidade de saltos e por fim o sentimento dos investidores, fator que influencia ambas as componentes de volatilidade (John & Li, 2025).

2.4. Desempenho da Bitcoin e do Ouro durante crises

A invasão na Ucrânia por parte da Rússia no dia 24 de fevereiro de 2022, teve fortes consequências nos mercados financeiros globais, devido ao facto destes países serem grandes exportadores de trigo, petróleo e gás natural. A Rússia sofreu sanções severas, sendo que uma das mais impactantes foi a sua exclusão de bancos do sistema SWIFT e diversas restrições a instituições financeiras. O preço do ouro sofreu logo uma valorização no início do período da guerra, ultrapassando os 2.000 dólares por onça. Enquanto a bitcoin apesar do seu aumento inicial, a mesma demonstrou volatilidade, subindo para 47.000 dólares e caindo para 20.000 dólares ao longo do ano de 2022. O autor investiga as propriedades de diversificação, *hedge* e porto seguro do ouro e da bitcoin em relação aos principais ativos afetados pela guerra Rússia-Ucrânia. Concluem que o ouro atuou apenas como diversificador durante a guerra, demonstrou ser porto seguro apenas contra Itália, Rússia, MSCI Europe e gás natural, apresentou melhor desempenho que a bitcoin, contudo a sua eficácia foi um pouco limitada. Por outro lado,

a bitcoin apresentou propriedades de hedge forte apenas contra o trigo e hedge fraco contra o gás natural, não apresentou propriedades de porto seguro robustas contra nenhum dos outros ativos. Sendo assim, o autor defende que o ouro continua a ser uma melhor opção de proteção e diversificação do que a bitcoin em tempos de crises nos mercados financeiros (Ustaoglu, 2023).

Conlon e McGee (2020) analisam as propriedades de refúgio seguro da bitcoin durante a queda no mercado financeiro verificada durante a pandemia do covid 19. Para o estudo comparam o desempenho da bitcoin com o do índice S&P 500. Os autores concluem que a bitcoin não desempenhou um papel de porto seguro durante a pandemia do covid-19. Sendo que os investidores não devem de confiar na bitcoin como refúgio seguro durante as quedas extremas verificadas nos mercados financeiros.

Eleuch, Souissi e Mroua (2025) após avaliarem o papel da bitcoin e da Ethereum, commodities e títulos como *hedge* e *safe haven* durante crises, concluem que a bitcoin não atua como um *safe haven* forte durante períodos de crise, e que a sua correlação com o mercado tradicional aumenta durante crises, passando assim a comportar-se com um ativo de risco.

Segundo Beckmann, Berger e Czuday (2015) o ouro é um bom porto seguro em regimes de alta volatilidade e elevado risco geopolítico, concluem ainda que o preço do mesmo sobe enquanto os mercados reagem negativamente, enquanto em períodos normais o ouro pode até nem reagir fortemente ou ser neutro.

Hillier, Draper e Faff (2019) investigam se os metais preciosos (ouro, prata, platina e paládio) fornecem benefícios de diversificação para investidores em ações, nomeadamente durante períodos de tensão no mercado financeiro. Concluem que o ouro deve ser considerado como componente de carteiras de investimento para proteção em períodos de alta volatilidade e de crise, não consegue substituir ações em termos de retorno esperado, mas auxilia a reduzir o risco total da carteira. Contudo a eficácia do ouro como porto seguro varia entre os países e os tipos de crise.

Utilizando o modelo TVP-VAR para a comparação dos preços do ouro e da bitcoin nos mercados do petróleo e ações durante a pandemia do Covid-19. Os autores concluem que tanto o ouro como a bitcoin atuam como *hedge* para o petróleo, no período antes do covid 19, o ouro também atua como *hedge* para o mercado das ações. Durante o período da pandemia, o ouro atua como refúgio seguro tanto para o petróleo quanto para as ações, nomeadamente durante momentos mais críticos da pandemia. Enquanto, durante o mesmo período, a bitcoin não desempenha um papel de refúgio

seguro, mostrando características de correlação positiva com petróleo e ações (Wen, Tong & Ren, 2022).

Os autores analisam as propriedades de safe haven e hedge, usando a metodologia de Baur e McDermott (2010), concluem que o ouro possui características de safe haven e hedge para a maior parte dos mercados acionistas do G7 e para o índice MSGI G7. Enquanto a bitcoin apresenta essas características apenas em alguns casos, nomeadamente no mercado financeiro do Canadá. Apesar da bitcoin apresentar características semelhantes as do ouro, apresenta alguma instabilidade e falta de aceitação a nível mundial, sendo que o ouro é mais eficaz em proteger os portfólios do que a bitcoin (Shahzad, Bouri, Roubaud & Kristoufrk, 2020).

Durante os períodos da guerra Rússia-Ucrânia e o conflito Israel-Gaza, e utilizando os métodos VAR (Vetor AutoRegression) e Análise de Coerência Wavelet, os autores verificam que o ouro conseguiu ter um efeito positivo sobre a bitcoin, nomeadamente no curto prazo. O aumento do preço do ouro pode ser um alerta para os investidores no mercado de criptomoedas, sendo que as alterações no preço do ouro durante estes dois momentos de conflito, captam a atenção dos investidores que tem como objetivo proteger os seus ativos em carteiras alternativas, tais como as criptomoedas. Entre o ano de 2022 e 2024, tanto a bitcoin como ouro têm desempenhado um forte papel como refúgio seguro em eventos com risco geopolíticos. A bitcoin é afetada de forma pouco significativa, a curto prazo pelos mercados do ouro e do petróleo, contudo acaba por seguir o seu próprio padrão e tendência. Os autores ainda defendem que o ouro pode complementar o preço da bitcoin, e os investidores pode obter melhores rendimentos diversificando os seus portfólios com o ouro e a bitcoin para conseguirem mitigar os riscos e reduzir potenciais perdas durante momentos de crise nos mercados (Zeinedini, Karimi, Khanzadi & Falahati, 2024).

Na pandemia Covid-19 verificou-se um período de grande incerteza e volatilidade nos mercados financeiros globais. Os autores investigam o papel do ouro como ativo de proteção (hedge) ou porto seguro (safe-haven). Concluem que no período inicial da pandemia, o ouro atuou como um ativo de porto seguro para o mercado das ações, ou seja, quando o mercado das ações estava em queda, o preço do ouro manteve e em alguns casos até aumentou, proporcionando assim proteção aos investidores. Durante a pandemia, entre março e junho de 2020, o ouro perdeu o seu papel de porto seguro, os autores defendem que poderá ter ocorrido devido à grande injeção de liquidez nos mercados através de estímulos fiscais e monetários, que estabilizaram o mercado

reduzindo assim a necessidade de ativos com propriedades de porto seguro (Akhtaruzzaman, Boubaker, Lucey & Sensoy, 2021).

Kinateder, Gurrib e Choudhury (2024) defendem que o ouro atuou de forma mais eficiente como porto seguro durante a pandemia covid 19, pois apresenta maiores correlações negativas. Durante a crise financeira global (2008/09) o ouro atua de forma moderada como refúgio seguro. Já durante o conflito Rússia-Ucrânia o ouro apresentou uma fraca capacidade de proteção em alguns setores económicos. Concluem que o ouro é um porto seguro fraco a moderado, sendo que depende do setor analisado, apresenta melhores capacidades de porto seguro em setores sensíveis ao ciclo económico.

2.5. Limitações e Controvérsias da Bitcoin

A moeda Bitcoin é descentralizada e não está sujeita a políticas monetárias, por isso nunca se irá comportar da mesma forma que as moedas atualmente existentes no mercado (Dyhrberg, 2016).

Uma das características mais importantes da bitcoin é a descentralização, o que basicamente significa que não a moeda não é controlada por nenhuma pessoa ou país. Devido ao facto de ser anónimo o uso da bitcoin, os criminosos puderam utilizá-la para atividades ilegais tais como tráfico de drogas, terrorismo, tráfico de pessoas, entre outros. Por se tratar de uma moeda emergente, sendo a sua estrutura operacional complexa para diversas pessoas, muitos criminosos podem tirar vantagem da ignorância e baixo conhecimento dos investidores para realizarem fraudes com a Bitcoin (Lin, Liao & Tsai, 2022).

No geral a bitcoin oferece anonimato aos seus utilizadores, contudo quando são usados os padrões comuns, tais como o troco, reutilização de endereços, este uso poderá facilitar o rastreamento de transações que por consequência levará a identificação dos utilizadores. E ainda, mesmo não tendo acesso a dados privados, a análise a tecnologia da blockchain pode mesmo revelar transações entre os utilizadores e os serviços. Os autores concluem assim que a bitcoin não providencia privacidade completa, não permitindo assim o uso da bitcoin para atividades ilícitas em larga escala, sendo possível assim que as entidades legais consigam rastrear as transações (Meiklejohn, Pomarole, Jordan, Levchenko, McCoy, Voelker & Savage, 2013).

Ações fraudulentas baseadas num *trader* ou num grupo de *traders* podem causar perturbações bastantes significativas no mercado financeiro, podendo assim influenciar de forma direta ou indireta o preço de um ativo, desinformando outros participantes do

mercado. Estes acontecimentos podem gerar risco sistémico e por consequência causar desconfiança nos restantes investidores do mercado. Os autores realizaram uma simulação baseada em agentes (*Agent-based model – ABM*), este modelo simula o comportamento de diferentes tipos de *traders*, incluindo um agente fraudulento. Concluem que muitas das quedas de preços e anomalias de volume são explicadas pelas ações do *trader* fraudulento, o modelo sugere que a evolução dos preços da bitcoin foi devido ao agente fraudulento, sem esse agente a bitcoin nunca teria atingido o pico no final de 2017. Mostrando assim a vulnerabilidade estrutural dos mercados das criptomoedas, nomeadamente quando não existe regulamentação (Fratrič, Sileno, Klous e Engers, 2022).

A bitcoin apresenta uma volatilidade extrema no seu preço, o que dificulta a sua utilização como moeda, existe ainda o risco de mercado e liquidez, onde os mercados ainda são pouco profundos e suscetíveis a manipulações. A bitcoin apresenta também limitações a níveis operacionais, nomeadamente ataques cibernéticos, perdas de chaves privadas e falhas de *exchanges*. O uso da bitcoin pode levar a incertezas fiscais, leis de lavagem de dinheiro e sanções a intermediários (Böhme et al.,2015).

2.6. Comparação com outros ativos

2.6.1. Bitcoin vs ativos tradicionais

A Bitcoin apresenta propriedades de *safe haven* face ao risco geopolítico no mercado acionista dos EUA, superando ativos tradicionais. O franco suíço também apresenta comportamento consistente com a função de ativo de refúgio. Em contrário, o ouro não demonstra características estáveis de proteção durante episódios de tensão geopolítica, e os títulos do Tesouro norte-americano exibem respostas fracas e estatisticamente inconsistentes, limitando sua eficácia como instrumentos de *hedge* em contextos de instabilidade geopolítica (Chibane & Janson, 2025).

Os autores (Mo, Chen, Shi & Zeng, 2025) concluem que o ouro e o dólar americano apresentam fortes propriedades de refúgio seguro face ao risco geopolítico, caracterizando-se pela sua alta resiliência e estabilidade de preços, ou até mesmo valorização, durante períodos de conflitos intensos que afetam os mercados financeiros. Em contrário verifica-se que as criptomoedas, nomeadamente a bitcoin e a Ethereum, apresentam apenas algumas características de refúgio seguro em certos cenários, demonstrando maior volatilidade geral de preços e não protegem consistentemente contra riscos geopolíticos de forma eficaz como os ativos de refúgio seguro tradicionais.

Ao analisar a influência da volatilidade dos preços da bitcoin nos mercados das ações e do ouro na China, os autores concluem que a volatilidade dos preços da bitcoin provoca flutuações na mesma direção no mercado das ações, enquanto no mercado do ouro provoca flutuações em sentido contrário (Zhang, Chen & Wang, 2024).

2.6.2. Bitcoin vs Ouro

Tanto a bitcoin como o ouro atuaram como instrumentos de hedge fracos, com baixa correlação com ativos tradicionais, no período pré pandemia covid-19. Durante a pandemia, as correlações aumentaram de forma significativa, onde a bitcoin desempenhou um papel de hedge mais forte que o ouro, nomeadamente contra moedas. O ouro durante a pandemia atuou como um refúgio seguro fraco enquanto a bitcoin não se comportou como refúgio seguro, devido à alta volatilidade e correlação crescente com mercados tradicionais. Os autores concluem assim que a bitcoin se comporta como hedge parcial, mas não é refúgio seguro confiável, enquanto o ouro continua a ser um ativo tradicional de proteção, mas com eficácia reduzida em situações de crise, tais como o Covid-19 (Chemkha, BenSaïda, Ghorbel & Tayachi, 2021).

A bitcoin partilha algumas propriedades de *hedge* com o ouro, nomeadamente no mercado de ações. A utilização da moeda bitcoin como *hedge* contra o dólar é mais limitada e menos consistente que a utilização do ouro. A autora defende que a bitcoin pode ser utilizada como ferramenta complementar na gestão de risco e diversificação no portfólio (Dyhrberg, 2016).

2.6.3. Ouro vs ações e obrigações

Segundo Jermann (2023) o ouro apresenta baixa correlação com ações e obrigações, tornando o assim num bom diversificador de carteiras. E ainda quando as taxas de juro reais estão baixas ou até mesmo negativas, o ouro tem a tendência de se valorizar, devido ao facto de o custo de oportunidade de o manter diminui.

O ouro apresenta uma baixa ou negativa correlação com ações e por as vezes até títulos, sendo assim o ouro pode atuar como diversificador de portfólio, reduzindo o risco para o investidor quando combinado com esses ativos (Lawrence, 2003).

2.6.4. Ouro vs petróleo

Durante os períodos da pandemia do covid 19, crise financeira global, crise da dívida soberana europeia e o colapso do mercado do ouro, os autores concluem que em nenhum desses momentos de crises nos mercados, existiu uma correlação de longo prazo significativa entre os preços do petróleo e do ouro. Concluem ainda que o ouro

continua a ser um ativo mais previsível e confiável durante os momentos de incerteza registados nos mercados financeiros (Liang & Ullah, 2024).

Os autores Li e Umair (2023) investigam as propriedades de proteção do ouro durante períodos de flutuação nos preços do petróleo, utilizando o modelo VAR (Vetorial Autorregressivo). Concluem que o ouro pode ser usado como proteção contra as variações nos preços do petróleo, pelo facto de existir uma associação negativa significativa entre os preços do ouro e do petróleo. Concluem que durante a pandemia do covid 19, o ouro manteve o seu papel como refúgio seguro. Os autores defendem assim que o ouro continua a ser um ativo com propriedades de proteção durante momentos de quedas extremas no mercado.

2.7. História e Características do Ouro

O ouro ao longo da história tem vindo a desempenhar um papel fundamental como meio de armazenamento de riqueza, sendo uma das formas mais antigas que se tem conhecimento. Evidências arqueológicas, como as escavações no Cemitério Real de Ur, datadas de aproximadamente 2500 a.C., comprovam que o ouro já era utilizado como reserva de valor e, inclusive, como meio de troca por comerciantes da época (O'Connor, M.Lucey, Batten & Baur, 2015).

Em 2003 verificou-se uma grande mudança no mercado do ouro com a criação do primeiro Exchange Traded Fund (ETF) de ouro, o Gold Bullion Securities ETF apoiado pelo World Gold Council. O autor Baur afirma que este acontecimento levou a uma mudança estrutural nos impulsionadores da procura do ouro, sendo que isto criou uma fonte de procura do investimento do ouro, permitindo que os investidores mais pequenos conseguissem adquirir o ouro com mais facilidade (Baur, 2013 citado por O'Connor et al, 2015).

O ouro não possui a capacidade de gerar rendimento direto, como ocorre com os juros ou os dividendos, contudo preserva o seu valor ao longo do tempo, nomeadamente durante momentos de crise financeira e períodos de incerteza económica. O retorno real do ouro no longo prazo é um pouco baixo, mas desempenha um papel seguro contra eventos extremos (Jermann, 2023).

O ouro é um ativo bastante valioso, devido essencialmente ao facto de não poder ser produzido, ao contrário do que acontece com outros ativos financeiros. É um metal que apresenta escassez, sendo por isso bastante limitado, pois é necessário ser extraído, tornando o assim menos propício aos ciclos especulativos. O ouro não se esgota nem

é consumido, ao contrário de outras *commodities*, tais como o petróleo e o trigo. Contudo o ouro pode ser usado em circuitos integrados, em componentes utilizados em carros elétricos, e ainda pode é usado em arte e jóias ou armazenado em barras de ouro. O ouro não se desgasta e nem perde o brilho, pois a sua composição química neutra impede a reação na presença de outros elementos (Banco Carregosa, 2024).

O ouro é apresentado como uma reserva de valor ao longo do tempo, tendo um histórico de milhares de anos. Um dos pilares essenciais do ouro é a sua capacidade de preservar o poder de compra através de gerações. Demonstra correlação baixa ou negativa com classes de ativos tradicionais, como ações e obrigações, nomeadamente durante momentos de crise nos mercados, tornando-o assim num diversificador eficaz. O ouro é frequentemente procurado como proteção contra a inflação e a desvalorização das moedas fiduciárias, pelo facto da sua oferta limitada e ausência de risco de contraparte. O mercado do ouro é vasto e altamente líquido, com reconhecimento e aceitação global (World Gold Council, 2021).

Nos países desenvolvidos, no século XIX, o padrão-ouro era o sistema monetário mais utilizado. Os países entravam em acordo e convertiam o papel-moeda em quantidades fixas de ouro. Desde o colapso do sistema *Bretton Woods*, que o papel de destaque do ouro tem diminuindo entre os bancos centrais em todo o mundo, contudo continua a ser um ativo importante para as carteiras das famílias e dos bancos centrais. Ao longo do tempo o ouro tem sido visto como uma reserva natural de valor e um ativo útil devido à sua alta liquidez (Gomis-Porqueras, Shi & Tan, 2022).

Há vários fatores que podem influenciar o preço do ouro, nomeadamente a economia global, pois quando há perturbações nos mercados financeiros, os investidores tendem em procurar o ouro como refúgio seguro fazendo assim com que o seu preço aumente, também as taxas de juros influenciam o preço do ouro, se as mesmas forem baixas então o ouro torna-se mais atraente pois o mesmo não rende juros, outro fator é os eventos geopolíticos, tais como guerras, crises políticas, e por fim como em qualquer outro produto a lei da oferta e da demanda, se existir muita demanda e pouca oferta o preço do ouro sobe (Gold Market, 2025).

2.8. Ouro como Ativo Histórico de Refúgio

Hasan, Hassan b., Rashid e Alhenawi (2021) avaliam o papel de safe haven, durante a crise financeira global de 2008 e a pandemia Covid 19, de doze ativos em relação ao mercado de ações dos EUA, concluíram que apenas o ouro e o dólar americano foram fortes hedges durante todo o período da amostra. Os ativos tradicionais, a exceção da

prata não protege o mercado dos EUA durante tempos de crise. Contudo ativos tradicionais tais como o ouro e a bitcoin demonstram ser em momentos de quedas acentuadas de mercado, bons refúgios seguros.

Baur e McDermott (2010) encontraram evidências que o ouro desempenha um papel de *safe-haven* na maioria dos mercados de ações dos países desenvolvidos, oferecendo proteção aos investidores. Os autores concluem que o ouro atua como melhor porto seguro em choques extremos no mercado e de curta duração. Sendo que o investidor tem tendência a reagir a estes choques extremos e de curto prazo recorrendo assim ao ouro como *safe-haven*. Nestes casos o ouro é adquirido de forma impulsiva e como resposta imediata a estes eventos negativos nos mercados. Os autores concluem assim que o ouro realmente atua como porto seguro, mas apenas em períodos de incerteza moderada. Em casos de volatilidade extrema, como por exemplo o caso do *Lehman Brothers*, a correlação do mercado aumenta, fazendo com que o ouro perca o seu papel como porto seguro.

Devido aos processos de expansão monetária nos países desenvolvidos após a crise financeira mundial, as variações nos preços dos ativos e baixas taxas de juro, tem originado discussões sobre a capacidade do ouro se portar como refúgio seguro contra inflação e ainda a possibilidade de a bitcoin substituir o ouro nesse papel. Os autores concluem que o ouro não oferece proteção suficiente contra a inflação durante o período de 2014-2019, contudo fora desse intervalo o ouro demonstra ser um refúgio seguro parcial contra a inflação (Ergül & Karakas, 2024).

Gomis – Porqueras *et al.* (2022) encontram evidências claras que o ouro é uma proteção universal e um bom porto seguro durante os momentos de crise observados nos mercados financeiros, incluindo uma das mais recentes crises a pandemia do Covid-19. Através do indicador PSY, concluem que o ouro tem propriedades de proteção fracas para o mercado de ações, os *spreads* dos títulos soberanos do euro e o preço do petróleo em condições normais de mercado, e desempenha função de porto seguro em momentos extremos de queda nos mercados. Durante a pandemia Covid-19, o ouro demonstrou ser um forte refúgio seguro para os riscos soberanos do euro, oferece também proteção para o dólar americano. O ouro continua a ser visto como um bom porto seguro, contudo com o surgimento de novas classes de ativos alternativos, isso poderá desafiar essa posição nos próximos anos.

O ouro sempre foi visto tradicionalmente como um ativo *safe haven* durante as quedas do mercado acionista, nomeadamente o do S&P500. Os autores concluem que o ouro não é um ativo *safe haven* universal, o seu desempenho depende do tipo de queda do

mercado. Nos choques de notícias macroeconómicas, o ouro atua como ativo que fornece propriedades fortes de refúgio seguro. Nas quedas de mercado relacionadas com políticas comerciais internacionais e ataques terroristas, também apresenta fortes características de porto seguro. O estudo desafia a percepção tradicional de que o ouro atua como porto seguro nas quedas de mercado de natureza macroeconómica, de política comercial e terrorismo. Em outras situações, o ouro pode não oferecer proteção significativa (Ryan, Corbet & Oxley, 2024).

2.9. Limitações e Críticas do Ouro

Os autores concluem que o ouro é o metal com menor capacidade de cobertura (*hedging*) contra perdas em títulos soberanos, quando comparado com outros metais preciosos como a prata, a platina e o paládio. Além disso, o ouro apresenta inconsistência temporal, pois a capacidade de cobertura do ouro variou negativamente ao longo do tempo. A eficácia do ouro como refúgio seguro depende muito do grau de integração financeira dos títulos soberanos nos mercados globais. Em países com menor integração, o ouro apresenta menor utilidade, sendo um fraco *hedge* ou *safe-haven*, limitando assim a sua utilização universal nas carteiras diversificadas (Dimitrios, Tsioutsios & Corbet, 2025).

Os autores analisam o risco climático, representado pelo fenómeno El Niño, e concluem que afeta significativamente a volatilidade dos preços futuros do ouro. Demonstrando que a volatilidade do ouro pode ser significativamente afetada por eventos climáticos extremos, mostrando que o ouro não é totalmente imune a riscos climáticos a nível global (Zhu, Han & Zhang, 2023).

O ouro na forma de barras, é um ativo procurado nomeadamente por investidores que tem como objetivo preservar o seu património. Contudo, a compra de ações de empresas mineiras no mundo do ouro, acabam por estar sujeitas a muita da volatilidade do mercado que a aquisição do ouro pretende evitar (Banco Carregosa, 2024).

Alguns dos riscos associados ao investimento no ouro puderam ser os riscos de bolha e quebra, ou seja, este fenómeno ocorre quando o preço de um ativo sobe excessivamente, sem nenhum motivo aparente, acabando por estourar. Quando a bolha estoura, ocorre um crash e o preço do ouro diminui significativamente e os investidores que compraram pelo valor mais alto acabam por sofrer perdas significativas. Existe também os custos associados ao investimento, nomeadamente o pagamento de impostos. Ao comprar ouro seja ele em barras, moedas ou papel dourado, o investidor tem de pagar taxas que pode ser uma percentagem do valor da compra ou da venda ou

então um valor fixo. Por fim, existem os custos de armazenamento, se os investidores comprarem o ouro físico, terão de o armazenar em algum sítio seguro, não sendo recomendado que o armazenem em casa, mas sim alugar um cofre num banco, o que irá resultar em custos adicionais (Gold Market, 2025).

3. Dados e Metodologia

O estudo empírico utiliza observações diárias do preço do ouro (Gold Spot US Dollar – XAU-USD), da bitcoin (BTC-USD), do índice de mercado FTSE100, o índice de mercado de mercado S&P 500 e o índice de mercado Euro STOxx50. Foi selecionado para a análise o preço do ouro spot, pois este reflete o valor real do ativo e ainda permite uma comparação consistente, pois a bitcoin é um ativo spot por natureza. Das observações foram excluídos os fins de semana e os feriados, dando um total de 2716 observações.

Os dados foram retirados da plataforma *investment.com*, compreendendo o período de 1 de janeiro de 2014 a 31 de dezembro de 2024. Foi escolhido este período correspondente a 10 anos, sendo que este período abrange a pré-pandemia covid 19, o período em que a pandemia decorreu e ainda o pós-pandemia, abrange ainda o início do conflito armado Rússia-Ucrânia (que ainda decorre até aos dias de hoje).

O software utilizado foi o EViews 12 Univ e para a elaboração de alguns gráficos foi utilizada a ferramenta Microsoft Excel.

3.1. Modelo GARCH

O Modelo GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), proposto por Bollerslev (1986), é uma generalização do modelo ARCH (Engle, 1982). A formulação do modelo GARCH (1,1), tem a capacidade de capturar a dinâmica da volatilidade, incorporando um termo de variância condicional desfasada, na equação da variância atual.

O modelo GARCH(1,1) é muito utilizado, devido ao facto de ser um modelo simples, que contém apenas quatro parâmetros, o que facilita a sua estimação. Também tem a capacidade de replicar e, assim, explicar características estilizadas fundamentais das séries de retornos financeiros diários, destacando-se entre elas a presença de *clusters* de volatilidade.

Na presença de heterocedasticidade nas séries de rendibilidades financeiras, o modelo GARCH (1,1), é estimado recorrendo as seguintes fórmulas:

Equação da Média:

$$R_t = \mu + \epsilon_t$$

- R_t : O retorno do ativo financeiro (ouro, bitcoin, s&p 500, ftse100, euro stoxx50) no período de tempo t ;
- μ : A média do retorno, ou seja, o retorno médio esperado do ativo.
- ϵ_t : o termo de erro ou o “choque” do retorno no período t .

Distribuição do Erro (Choque):

$$\epsilon_t \mid \Omega_{t-1} \sim N(0, \sigma_t^2)$$

- ϵ_t : O termo de erro que vimos acima.
- Ω_{t-1} : Significa "condicionado à informação disponível no período anterior", $t-1$. Isto é crucial, pois o modelo GARCH assume que a variância do erro (σ_t^2) depende de informação passada.
- $\sim N(0, \sigma_t^2)$: Indica que o termo de erro segue uma distribuição normal (normalmente, a suposição padrão), com uma média de 0 e uma variância de σ_t^2 . A parte mais importante é que a variância não é constante, mas sim condicional e variável no tempo (σ_t^2).

Equação da Variância Condicional (a parte GARCH)

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

- σ_t^2 : A variância condicional no período t . É a medida de volatilidade. É "condicional" porque depende da informação do passado.
- ω (ômega): É uma constante que representa a variância de base do modelo.
- α_1 (alfa): O coeficiente do termo de erro quadrado desfasado. Mede o impacto dos choques passados (ϵ_{t-1}^2) na volatilidade atual. Um α_1 grande significa que a volatilidade é muito sensível a eventos ou notícias recentes.
- ϵ_{t-1}^2 : O quadrado do termo de erro do período anterior ($t-1$). Um choque de retorno (positivo ou negativo) tem o mesmo efeito na volatilidade futura, uma vez que é elevado ao quadrado.
- β_1 (beta): O coeficiente da variância condicional desfasada. Mede a persistência da volatilidade. Um β_1 grande indica que a volatilidade de ontem tem um forte impacto na volatilidade de hoje, o que significa que a volatilidade tende a durar muito tempo.

- σ_{t-1}^2 : A variância condicional do período anterior (t-1).

Os coeficientes devem satisfazer as seguintes condições:

- $\omega > 0$;
- $\alpha_1 \geq 0$;
- $\beta_1 \geq 0$.

Para assim se garantir a positividade da variância condicional. A volatilidade é calculada utilizando a fórmula $\alpha_1 + \beta_1$ e a estacionariedade pela fórmula $\alpha_1 + \beta_1 < 1$.

O modelo tem as suas limitações, sendo a principal a hipótese de que a volatilidade responde de forma simétrica a choques positivos e negativos.

3.2. Modelo E-GARCH

Devido as limitações do modelo GARCH, Nelson (1991) propôs um novo modelo o GARCH exponencial, EGARCH.

Com aplicação deste modelo pretende-se ultrapassar as restrições do modelo GARCH, sendo essas restrições a nível dos seus parâmetros e não permitindo uma resposta assimétrica a variações positivas e negativas.

$$\ln \sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \frac{|u_{t-i}|}{\sigma_{t-i}} + \sum_{i=1}^q \gamma_i \frac{u_{t-i}}{\sigma_{t-i}} + \sum_{i=1}^p \delta_i \ln \sigma_{t-1}^2$$

Onde:

- $\ln \sigma_t^2$ é o logaritmo da variância condicional no tempo t . O σ_t^2 representa a volatilidade esperada para o período atual;
- α_0 é o termo constante da equação;
- $\sum_{i=1}^q \alpha_i \frac{|u_{t-i}|}{\sigma_{t-i}}$ é o termo ARCH generalizado;
- $\sum_{i=1}^q \gamma_i \frac{u_{t-i}}{\sigma_{t-i}}$ é o termo de assimetria;
- $\sum_{i=1}^p \delta_i \ln(\sigma_{t-1}^2)$ é o termo GARCH generalizado.

A principal vantagem do modelo EGARCH é a sua aptidão para representar o chamado efeito de alavancagem (*leverage effect*), que descreve a tendência de choques negativos (más notícias) aumentarem a volatilidade futura de forma mais intensa do que choques positivos de igual dimensão.

4. Resultados Obtidos

4.1. Evolução do preço dos ativos

Neste ponto, é apresentada uma breve análise ao preço dos 5 ativos, sendo a bitcoin, o ouro e o índice S&P 500 em dólares americanos, o euro stoxx 50 tratando-se do mercado europeu encontra-se em euros e por fim o FTSE 100 tratando-se do mercado do reino unido encontra-se em libras.

Gráfico 1: Evolução do preço da bitcoin



Fonte: Autor com auxílio do Microsoft excel, dados retirados da plataforma *investment.com*

O preço da bitcoin teve um grande crescimento a partir outubro de 2020 observando-se um aumento bastante significativo, sendo que nesse período ainda se enfrentava a crise financeira provocada pela pandemia covid 19. Em abril de 2022, pouco depois do início do conflito armado Ucrânia-Rússia teve uma descida abrupta. Desde janeiro de 2023 tem vindo a aumentar o preço de forma constante e bastante significativa, sendo que no final do período da análise é quando regista o maior valor.

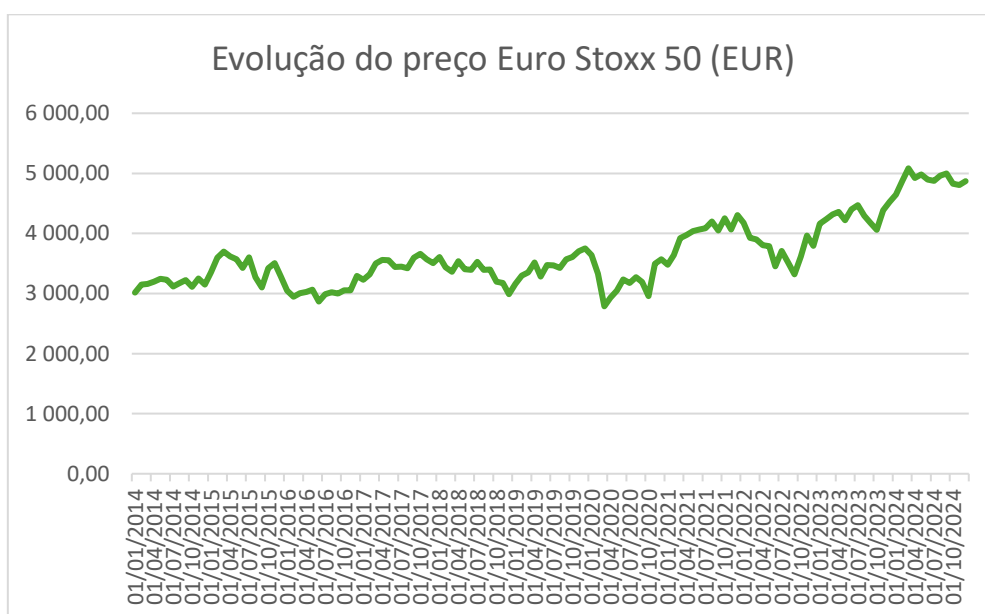
Gráfico 2: Evolução do preço do ouro



Fonte: Autor com auxílio do Microsoft excel, dados retirados da plataforma *investment.com*

O ouro apresenta uma evolução constante, não se verificam grandes subidas, mas também não se verifica descidas significativas. Com o surgimento da pandemia covid 19 não se verificou uma descida, contudo com o início do conflito armado Ucrânia-Rússia verificou-se uma ligeira descida, contudo passados cerca de 8 meses o preço voltou a subir de forma constante.

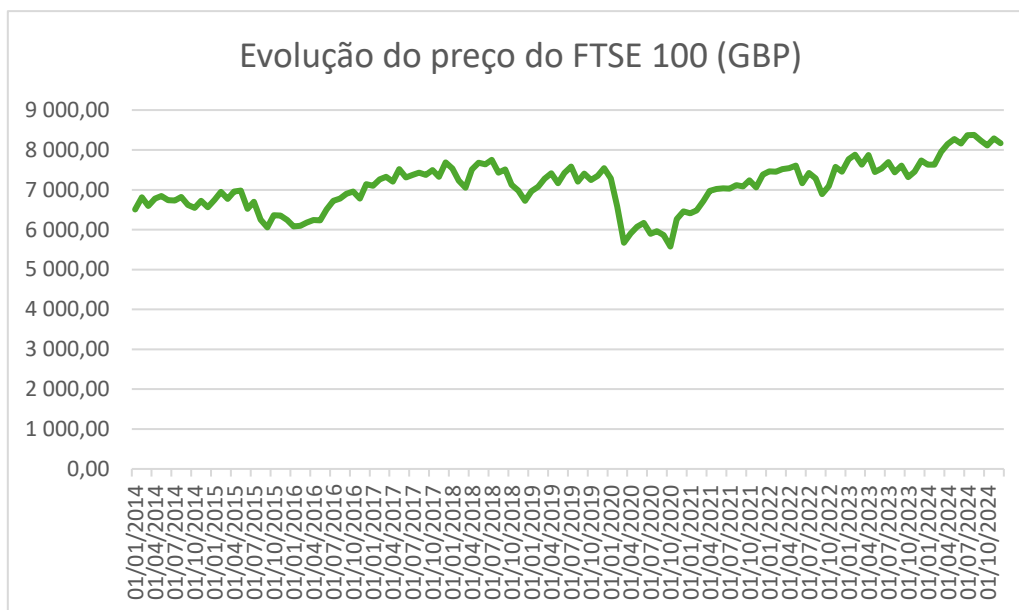
Gráfico 3: Evolução do preço do Euro Stoxx 50



Fonte: Autor com auxílio do Microsoft excel, dados retirados da plataforma *investment.com*

O mercado europeu, o Euro stoxx 50, apresenta algumas subidas e descidas, mas não são significativas. Com o aparecimento da pandemia Covid 19 verificou-se uma descida um pouco significativa, com o surgimento do conflito armado Ucrânia-Rússia também se verificou uma descida. No final de 2023 verificou-se um aumento significativo, que se manteve constante durante o ano de 2024.

Gráfico 4: Evolução do preço do FTSE100



Fonte: Autor com auxílio do Microsoft excel, dados retirados da plataforma *investment.com*

Em relação ao mercado do Reino Unido, o FTSE100, apresenta uma descida significativa nos meses em que a pandemia covid-19 surgiu. Quando surgiu a crise financeira provocada pelo conflito armado Ucrânia-Rússia não se verificou uma descida no preço. Sendo que durante o ano de 2024 foi o ano em que o mercado teve melhor desempenho, durante o período de 10 anos analisado no estudo.

Gráfico 5: Evolução preço do S&P 500



Fonte: Autor com auxílio do Microsoft excel, dados retirados da plataforma *investment.com*

Em relação ao mercado dos Estados Unidos da América, o S&P 500, de 2014 para 2024 o preço aumentou para cerca do triplo. Verificou-se uma descida com o aparecimento da pandemia covid 19, mas não muito significativa. Com o aparecimento da crise financeira provocada pelo conflito armado Ucrânia-Rússia também se verificou uma descida, sendo que a partir de finais de 2022 o preço aumentou de forma constante, verificando-se algumas descidas, mas não muito significativas.

4.2. Análise das estatísticas das séries de rendibilidades

Para o período em análise, a Tabela 1 apresenta as principais estatísticas descritivas das cinco variáveis em análise, sendo as rendibilidades diárias do ouro (Gold Spot US Dollar – XAU-USD), *bitcoin* (BTC-USD), FTSE100, S&P 500 e o Euro STOxx50.

Tabela 1: Estatísticas descritivas

	Bitcoin	Ouro	FTSE100	S&P 500	Euro STOxx50
Mínimo	-0.848829	-0.058975	-0.115124	-0.127657	-0.132405
Média	0.001728	0.000280	0.000072	0.000429	0.000173
Mediana	0.001204	0.000335	0.000588	0.000687	0.000547
Máximo	1.474180	0.046928	0.086668	0.089671	0.088343
Desvio-padrão	0.056717	0.008946	0.009815	0.011053	0.012152

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta eviews, dados retirados da plataforma *investment.com*

Observa-se que a rendibilidade mínima da Bitcoin é de -84,88%, enquanto a rendibilidade máxima é de 147,42%, registando uma média positiva de 0,17%. O ouro

apresenta uma rentabilidade mínima de -5,89% e máxima de 4,69%, observando-se uma média positiva de 0,028%. Relativamente aos índices de mercado, o FTSE100 apresenta uma rentabilidade mínima de -11,51% e máxima de 8,67%, registando-se uma média positiva de 0,0072%. O S&P 500 regista uma rentabilidade mínima de -12,77% e uma máxima de 8,97%, observando-se assim uma média positiva de 0,0429%. Por fim o Euro STOxx50 apresenta uma rentabilidade mínima de -13,24% e uma rentabilidade máxima de 8,83%, apresentando uma média positiva de 0,017%.

O desvio padrão mede a volatilidade. A bitcoin é um ativo que apresenta um desvio padrão mais elevado no valor de 5,67%, sendo assim o ativo mais volátil e que apresenta maior risco. O ouro e o FTSE100 são os ativos que apresentam um desvio padrão mais baixo, nos valores de 0,8946% e 0,9815%, respetivamente. Os índices de mercado S&P500 e Euro STOxx50 apresentam valores semelhantes, 1,11% e 1,22% respetivamente.

A bitcoin é o ativo que apresenta maior probabilidade de retorno por ter a média mais alta, contudo também é o que possui mais risco por ter o desvio padrão mais elevado. O ouro é o inverso, é o ativo mais estável, contudo tem menos probabilidades de retorno.

Em relação aos índices de mercado, os três apresentam características de risco e retornos intermediários, sendo mais voláteis que o ouro, mas menos que a bitcoin de forma significativa. O que demonstra melhor desempenho é o índice de mercado S&P 500.

Tabela 2: Testes de Skewness e Kurtosis

	Bitcoin	Ouro	FTSE100	S&P 500	Euro STOxx50
Skewness	4.876411	-0.171749	-0.866887	-0.801432	-0.796661
Kurtosis	193.2277	5.7325590	16.04989	18.945160	13.326010

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta eviews, dados retirados da plataforma *investment.com*

A tabela 2 apresenta os resultados da análise dos testes de *skewness* e a *Kurtosis*.

O teste *Skewness* indica a direção da cauda da distribuição, quando o valor é próximo de zero significa que a distribuição é quase simétrica, sendo neste caso o ouro, FTSE100 e S&P 500 e Euro STOxx50 os ativos que apresentam os valores mais baixos e próximos do zero. Enquanto a bitcoin apresenta um resultado positivo e mais longe do zero, tendo assim uma cauda de distribuição alongada para a direita, com maior probabilidade de retornos extremos e positivos.

O teste *Kurtosis* mede a espessura das caudas de distribuição, ou seja, mede a probabilidade de eventos extremos, sejam eles positivos ou negativos. A bitcoin apresenta um valor bastante elevado, reforçando assim a ideia de que a bitcoin não segue uma distribuição normal de retornos, mostrando-se assim propícia a movimentos muito abruptos e extremos. Os restantes ativos também apresentam uma curtose alta, mas os seus valores são bem menores que a bitcoin, sendo que também possuem o risco de eventos extremos, mas a probabilidade de ocorrência é bastante menor.

4.3. Teste de estacionariedade – ADF (Augmented Dickey – Fuller)

Para testar a estacionariedade das séries temporais, foi utilizado o teste ADF (Augmented Dickey – Fuller) em cada uma das séries de rendibilidades.

Este teste tem por base duas hipóteses, sendo elas:

- H0: A série temporal possui uma raiz unitária, ou seja, não é estacionária;
- H1: A série temporal não possui uma raiz unitária, ou seja, é estacionária.

Se o p-value for menor que o nível de significância (0,05), rejeita-se a hipótese nula. Se for maior que o nível de significância, não se rejeita a hipótese nula.

Tabela 3: Teste Augmented Dickey-Fulley

Variáveis em análise	p_value
Bitcoin	0,0000
Ouro	0,0001
FTSE100	0,0001
S&P 500	0,0000
Euro STOxx50	0,0001

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta *eviews*, dados retirados da plataforma *investment.com*

Na tabela 3 são apresentados os resultados do teste ADF.

Para todas as séries temporais, os resultados obtidos foram inferiores a 0,05. Rejeita-se então a hipótese nula, confirmando-se assim a estacionariedade das séries.

4.4. Teste ARCH-LM (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity – Lagrange Multiplier)

Para testar a heterocedasticidade das séries temporais, foi utilizado o teste ARCH-LM em cada uma das séries de rendibilidades.

Rejeita-se a hipótese quando o p-value é menor que 0,05, pois nesse caso existem efeitos ARCH significativos.

Se o p-value for maior que 0,05, nesse caso não se rejeita a hipótese nula, significando que não há evidência estatística de efeitos ARCH nos resíduos.

Tabela 4: Teste ARCH-LM

Variáveis em análise	p_value
Bitcoin	0,1316
Ouro	0,0074
FTSE100	0,0000
S&P 500	0,0000
Euro STOxx50	0,0000

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta eviews, dados retirados da plataforma *investment.com*

A bitcoin é o único ativo que apresenta o p-value maior que 0,05. Não existindo assim evidência estatística de efeitos ARCH nos retornos da bitcoin. Apesar deste resultado, a bitcoin é conhecida como sendo um ativo com alta volatilidade, o que justifica a utilização dos modelos GARCH e EGARCH.

Em relação ao ouro, o p-value é de 0,0074. Sendo menor que 0,05, neste caso rejeita-se a hipótese nula.

Os índices de mercado FTSE100, S&P 500 e Euro STOxx50 apresentam os três um p-value de 0,0000. Confirmando assim a forte presença de efeitos ARCH, sendo o esperado para séries temporais de mercados acionistas.

4.5. Estimação do modelo GARCH (1,1)

Para modelar a volatilidade condicional das rendibilidades diárias dos ativos em estudo, recorreu-se a estimação do modelo GARCH (1,1).

A tabela 5 demonstra esses resultados:

Tabela 5: Resultados da estimação do modelo GARCH (1,1)

Bitcoin	Coefficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
ω (ómega)	0.000141	0.00000838	16.76866	0.00000
α (alpha)	0.187980	0.00747900	25.13414	0.00000
β (Beta)	0.770322	0.00807800	95.36317	0.00000

Ouro

	Coefficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
ω (ómega)	0.00000154	0.000000355	4.328673	0.00000
α (alpha)	0.04155500	0.004749000	8.750455	0.00000
β (Beta)	0.93967400	0.007813000	120.2739	0.00000

Euro_stoxx_50

	Coefficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
ω (ómega)	0.00000619	0.000000682	9.0758140	0.00000
α (alpha)	0.13634000	0.011163000	12.213010	0.00000
β (Beta)	0.82252400	0.013560000	60.659800	0.00000

FTSE_100

	Coefficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
ω (ómega)	0.00000514	0.000000623	8.242358	0.00000
α (alpha)	0.14623800	0.012338000	11.85309	0.00000
β (Beta)	0.79439400	0.016440000	48.32031	0.00000

S&P 500

	Coefficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
ω (ómega)	0.00000422	0.00000041	10.30545	0.00000
α (alpha)	0.19164100	0.01473900	13.00265	0.00000
β (Beta)	0.77417400	0.01549800	49.95183	0.00000

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta eviews, dados retirados da plataforma *investment.com*

Todos os p-values são 0,00000, o que demonstra que todos os coeficientes são estatisticamente significativos, pois são menores que 0,05.

No caso da bitcoin, a soma α e β é de 0,958302 sendo um valor muito próximo de 1, o que demonstra que a volatilidade da bitcoin é muito persistente. De todos os ativos é na bitcoin que o α apresenta o valor mais alto, o que significa que a bitcoin tem elevada vulnerabilidade a choques que ocorrem nos mercados financeiros.

Em relação ao ouro, a soma α e β é de 0,981229, a volatilidade é maior que a bitcoin, contudo o valor de α é o mais baixo dos cinco ativos. O que demonstra que o ouro reage de forma mais moderada a perturbações repentinas nos mercados financeiros.

Nos índices de mercado a soma α e β no Euro Stoxx 50 é de 0,95859, no FTSE 100 é de 0,940984 e no S&P 500 é de 0,966017. Os três apresentam valores próximos mostrando alta persistência de volatilidade.

4.5.1. Teste de Ljung-Box

Para validar a adequação dos modelos GARCH e EGARCH, é necessário verificar se os resíduos padronizados dos modelos são aleatórios.

Testa assim a hipótese nula de que não existe autocorrelação nos resíduos até um determinado período.

Sendo que:

- Hipótese nula (H_0): os resíduos padronizados são independentes e aleatórios, ou seja, não existe autocorrelação;
- Hipótese alternativa (H_a): Há autocorrelação nos resíduos.

A tabela 6 mostra os resultados obtidos:

Tabela 6: Resultados do teste Ljung-Box

Variáveis em análise	Valor do LB
Bitcoin	4.8830
Ouro	0.3606
FTSE100	0.7483
S&P 500	1.1574
Euro STOxx50	0.1511

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta eviews, dados retirados da plataforma *investment.com*

O resultado para todos os ativos é superior a 0,05, o que demonstra que os modelos GARCH e EGARCH captaram a autocorrelação nos resíduos dos cinco ativos de forma eficaz.

Os resultados do teste de Ljung-Box confirmam que a metodologia utilizada é robusta, e a análise a volatilidade pode ser considerada confiável.

4.5.2. Teste de Breusch Godfrey

Este teste complementa o teste de Ljung-box, sendo este teste crucial na econometria e na análise de séries temporais. É utilizado para verificar se existe autocorrelação nos resíduos de um modelo, neste caso o modelo GARCH e o EGARCH.

Sendo que:

- Hipótese nula (H_0): não há autocorrelação nos resíduos até um determinado período;
- Hipótese alternativa (H_a): existe autocorrelação nos resíduos.

A tabela 7 mostra os resultados obtidos:

Tabela 7: Resultados do teste Breusch Godfrey

Variáveis em análise	Valor do BG
Bitcoin	0.459925
Ouro	0.785444
FTSE100	0.446634
S&P 500	0.051275
Euro STOxx50	0.720749

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta eviews, dados retirados da plataforma *investment.com*

A bitcoin apresenta um valor de 0,459925 maior que 0,05. Confirmando assim que o modelo GARCH e EGARCH para bitcoin foi bem-sucedido em eliminar a autocorrelação nos resíduos.

O ouro foi o que obteve o valor mais elevado sendo de 0,785444. Sendo este valor muito superior a 0,05, o que demonstra que os modelos GARCH e EGARCH foram bem-sucedidos para o ouro também.

O FTSE100 apresenta o valor de 0,446634 sendo mesmo mais elevado que 0,05 o que demonstra que o modelo para o FTSE100 também é robusto. O índice S&P500 tem um valor muito próximo de 0,05, mas acaba por ser superior, sendo assim aceitável o modelo GARCH e EGARCH. O Euro Stoxx50 é o índice que apresenta maior valor, sendo o mesmo 0,720749, sendo um resultado forte que valida o modelo GARCH e EGARCH para este índice.

4.5.3. Teste KPSS

Utilizamos o teste KPSS para verificar a estacionaridade das séries temporais, sendo que a sua hipótese nula é o oposto do teste ADF.

As hipóteses deste teste são as seguintes:

- Hipótese Nula (H_0): a série temporal é estacionária;
- Hipótese Alternativa (H_1): a série temporal não é estacionária (possui uma raiz unitária).

Na tabela 8 são apresentados os resultados do teste KPSS para os cinco ativos.

Tabela 8: Resultados do teste KPSS

	Nível de significância 1%	Nível de significância 5%	Nível de significância 10%	Valor do KPSS
Bitcoin	0.105028	0.739000	0.463000	0.347000
Ouro	0.162639	0.739000	0.463000	0.347000
FTSE100	0.030582	0.739000	0.463000	0.347000
S&P 500	0.047862	0.739000	0.463000	0.347000
Euro STOxx50	0.035211	0.739000	0.463000	0.347000

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta eviews, dados retirados da plataforma *investment.com*

Os resultados mostram que o valor do teste KPSS é igual em todos os ativos, sendo o montante de 0,347000.

No ouro e a bitcoin, o valor do teste KPSS é maior que o valor do nível de significância de 1%, sendo os valores respetivamente 0,105028 e 0,162639. Estes resultados levam à rejeição da hipótese de estacionaridade no nível 1% de significância. Contudo no nível de significância 5% e 10% a estatística é menor, o que sugere que a estacionaridade das séries de retorno para a bitcoin e ouro pode ser limitada, mas aceitável para efeitos de análise.

Em relação aos índices de mercado o valor do KPSS é maior que todos os valores críticos apresentados na tabela, sendo que o FTSE100 apresenta o valor de 0,030582, o S&P 500 o valor de 0,047862 e enquanto o Euro Stoxx50 o montante de 0,035211. Todos eles inferiores ao valor de 0,347000, levando assim a rejeição da hipótese nula da estacionaridade.

4.6. Estimação do modelo E-GARCH

O modelo E-GARCH (*Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), tem a capacidade de detetar o efeito de alavancagem ou a assimetria na resposta da volatilidade.

Este modelo diferencia-se do modelo GARCH tradicional pois permite que choques negativos e choques positivos tenham impactos diferentes na volatilidade futura. Normalmente em ativos financeiros, os choques negativos têm a tendência a aumentar a volatilidade de forma mais acentuada e persistente do que choques positivos que tenham igual magnitude.

Na tabela 9 são apresentados os resultados obtidos com a aplicação do modelo EGARCH:

Tabela 9: Resultados do modelo EGARCH

Bitcoin

	Coeficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
c - constante	0.001335	0.000683	1.953300	0.05080
c(2) - Contante da variância	-0.832679	0.036727	-22.67182	0.00000
c (3) - Efeito de Alavancagem	0.364118	0.013590	26.79364	0.00000
c (4) - Efeito ARCH	-0.082419	0.007319	-11.26028	0.00000
C(5) - Efeito GARCH	0.906765	0.004738	191.3925	0.00000

Ouro

	Coeficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
c - constante	0.000252	0.000155	1.632100	0.10270
c(2) - Contante da variância	-0.313943	0.055363	-5.670625	0.00000
c (3) - Efeito de Alavancagem	0.101171	0.010713	9.444005	0.00000
c (4) - Efeito ARCH	0.030390	0.006499	4.675905	0.00000
C(5) - Efeito GARCH	0.974916	0.005351	182.2029	0.00000

FTSE100

	Coeficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
c - constante	-0.000124	0.000143	-0.869566	0.38450
c(2) - Contante da variância	-0.494708	0.046265	-10.69296	0.00000
c (3) - Efeito de Alavancagem	0.146933	0.014513	10.12453	0.00000
c (4) - Efeito ARCH	-0.151155	0.009070	-16.66597	0.00000
C(5) - Efeito GARCH	0.959889	0.004168	230.3252	0.00000

S&P500

	Coeficiente	Desvio padrão	Estatística - t	P-value
c - constante	0.000372	0.000146	2.549006	0.01080
c(2) - Contante da variância	-0.731418	0.057375	-12.74797	0.00000
c (3) - Efeito de Alavancagem	0.2586760	0.017148	15.08454	0.00000
c (4) - Efeito ARCH	-0.158877	0.010238	-15.51874	0.00000
C(5) - Efeito GARCH	0.9436970	0.005062	186.4126	0.00000

Fonte: Cálculos do autor, com recurso a ferramenta eviews, dados retirados da plataforma *investment.com*

A bitcoin apresenta um efeito de alavancagem de 0,364118 sendo altamente significativo. Os choques negativos (quedas no preço) têm um impacto mais intenso na volatilidade da bitcoin do que choques positivos. A nível de persistência da volatilidade (c(5)) o coeficiente é de 0,906765 é muito elevado e significativo, o que significa que a volatilidade da bitcoin é muito persistente. Estes resultados indicam que a bitcoin demonstra um forte e persistente efeito de alavancagem, o que demonstra que em

momentos de crise, a sua volatilidade aumenta muito, mostrando assim não ser um refúgio seguro durante crises financeiras.

O ouro apresenta um efeito de alavancagem inferior, mas altamente significativo, sendo o valor de 0,101171. O ouro tal como a bitcoin também apresenta um efeito de alavancagem, contudo muito menor que na bitcoin. Estes resultados sugerem que os choques negativos no mercado aumentam a volatilidade do ouro, contudo o seu impacto é muito menos significativo que no caso da bitcoin. Em relação a persistência da volatilidade, o coeficiente é de 0,974916 sendo o mesmo extremamente alto e significativo. Estes resultados mostram que a volatilidade do ouro é mais persistente que a da bitcoin.

Em relação aos índices de mercado os mesmos apresentam coeficientes de alavancagem positivos e altamente significativos. O FTSE100 apresenta o valor de 0,146933, o Euro_stoxx50 o valor de 0,132979 e o S&P 500 o valor de 0,2586760. De todos o S&P 500 apresenta o maior efeito de alavancagem. Ao nível da persistência da volatilidade ($c(5)$), todos os índices de mercado apresentam valores muito elevados e próximos de 1, confirmando assim que a volatilidade nos mercados de ações é extremamente persistente. Sendo que um período de alta volatilidade em um mercado de ações tende a ser seguido por mais períodos de alta volatilidade.

5. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo perceber como o ouro e a bitcoin se comportam durante períodos de crise observados nos mercados financeiros, o período da amostra foi de 10 anos compreendendo duas grandes crises financeiras, a pandemia covid-19 que surgiu em março de 2020 e o conflito armado Ucrânia-Rússia que surgiu em fevereiro de 2022 e mantém-se até aos dias de hoje.

Para responder as questões de investigação, foram utilizados os modelos GARCH e EGARCH.

Relativamente as questões de investigações definidas no início do presente estudo:

- A bitcoin e o ouro são refúgios seguros durante momentos de crise?
- É mais seguro investir na bitcoin ou no ouro?

Antes da estimação dos modelos, foram realizados dois testes o ADF e o teste ARCH-LM. O teste ADF tem como objetivo testar a estacionariedade das séries temporais, todos os ativos apresentaram valores inferiores a 0,05, confirmando-se assim a estacionariedade das séries. Em relação ao teste ARCH-LM, o mesmo tem como objetivo testar a heterocedasticidade das séries temporais. A bitcoin foi o único ativo que apresentou um valor maior que 0,05, apesar deste resultado a bitcoin é um ativo que apresenta uma alta volatilidade, o que justifica a utilização dos modelos GARCH e EGARCH.

Com a aplicação do teste GARCH, conclui-se que a bitcoin tem uma elevada vulnerabilidade a choques que ocorram nos mercados financeiros enquanto o ouro a volatilidade é a maior que a da bitcoin, contudo o ouro reage de forma mais moderada a perturbações repentinas nos mercados financeiros.

Para detetar o efeito de alavancagem, foi utilizado o modelo EGARCH. Concluindo-se que no caso da bitcoin os choques negativos têm um impacto mais intenso na volatilidade do que os choques positivos. O que demonstra que em momentos de crise a volatilidade aumenta muito, mostrando assim que a bitcoin não é um refúgio seguro durante crises financeiras. Em relação ao ouro, o mesmo também apresenta um efeito de alavancagem, contudo muito menor que o da bitcoin. Os resultados sugerem que os choques negativos no mercado aumentam a volatilidade do ouro, mas o seu impacto será muito menos significativo que o da bitcoin. O ouro mantém-se como um ativo mais

estável e mais próximo da definição de refúgio seguro, contudo não é totalmente isento de aumentos de volatilidade em momentos de stress.

Com estes resultados conclui-se que a bitcoin é o ativo que apresenta maior risco, sendo o ouro mais seguro, contudo o ouro não garante totalmente propriedades de refúgio seguro.

Para testar a adequacidade dos modelos GARCH e EGARCH, foram aplicados os testes Ljung-Box, Breusch Godfrey e o teste KPSS. No teste Ljung-Box todos os ativos apresentaram valores superiores a 0,05, o que demonstra que os modelos captaram a autocorrelação nos resíduos dos cinco ativos de forma eficaz. O mesmo se verificou no teste Breusch Godfrey, todos os ativos apresentaram resultados maiores que 0,05, contudo o índice de mercado S&P 500 obteve um resultado muito próximo, mas acabando por ser maior, conclui-se assim que os modelos foram bem-sucedidos em eliminar a autocorrelação nos resíduos. Por fim, o teste de KPSS sugere que a estacionaridade das séries de retornos para a bitcoin e ouro pode ser limitada, mas é aceitável para efeitos de análise.

Esta investigação apresenta algumas limitações que importa salientar. Começando pelo facto de os resultados estarem condicionados ao período temporal e aos ativos considerados (bitcoin, ouro, S&P 500, FTSE100 e EuroStoxx50). Para além disso, embora os modelos GARCH e EGARCH sejam adequados para captar a persistência e assimetria da volatilidade, outras abordagens poderiam oferecer uma visão mais completa. De realçar também que a bitcoin é um ativo com elevada volatilidade, o que limita a análise do seu papel como refúgio seguro.

Para investigações futuras seria interessante comparar a bitcoin e o ouro com outros ativos tradicionalmente considerados refúgios seguros, como o franco suíço ou os títulos do Tesouro norte-americano.

6. Referências Bibliográficas

Acikgoz, T. (2025). Gold and Bitcoin as hedgers and safe havens: Perspective from nonlinear dynamics. *Resources Policy*, 102(105489), 105489. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2025.105489>

Akhtaruzzaman, M., Boubaker, S., Lucey, B. M., & Sensoy, A. (2021). Is gold a hedge or a safe-haven asset in the COVID–19 crisis? *Economic Modelling*, 102(105588), 105588. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2021.105588>

Banco Carregosa. (2024). Por que é que a cotação do ouro é tão elevada? Disponível em: <https://www.bancocarregosa.com/pt/insights/conteudos/por-que-e-que-a-cotacao-do-ouro-e-tao-elevada/>

Baur, D. G., & McDermott, T. K. (2010). *Is gold a safe haven? International evidence*. *Journal of Banking & Finance*, 34(8), 1886–1898. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2009.12.008>

Baur, D. G., & Lucey, B. M. (2010). *Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold*. *The Financial Review*, 45(2), 217–229. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6288.2010.00244.x>

Beckmann, J., Berger, T., & Czudaj, R. (2015). Does gold act as a hedge or a safe haven for stocks? A smooth transition approach. *Economic Modelling*, 48, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.10.044>

Belinchón, F. (2025, May 21). El bitcoin marca un nuevo máximo histórico: su valor de mercado supera los dos billones de dólares. Ediciones EL PAÍS S.L. <https://cincodias.elpais.com/criptoactivos/2025-05-21/el-bitcoin-marca-un-nuevo-maximo-historico-su-valor-de-mercado-supera-los-dos-billones-de-dolares.html>

Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). *Bitcoin: Economics, technology, and governance*. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213–238. <https://doi.org/10.1257/jep.29.2.213>

Bouri, E., Molnár, P., Azzi, G., Roubaud, D., & Hagfors, L. I. (2017). 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>

Chemkha, R., BenSaïda, A., Ghorbel, A., & Tayachi, T. (2021). Hedge and safe haven properties during COVID-19: Evidence from Bitcoin and gold. *The Quarterly Review of Economics and Finance: Journal of the Midwest Economics Association*, 82, 71–85. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2021.07.006>

Chen, Y., Chiu, J., Chung, H., & Lien, D. (2024). Bitcoin market connectedness across political uncertainty. *International Review of Economics & Finance*, 96(103623), 103623. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.103623>

Chibane, M., & Janson, N. (2025). Is Bitcoin the best safe haven against geopolitical risk? *Finance Research Letters*, 74(106543), 106543. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106543>

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

Dimitriou, D., Tsioutsios, A., & Corbet, S. (2025). Analysing art as a safe-haven asset in times of crisis. *International Review of Financial Analysis*, 104(104194), 104194. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2025.104194>

Dyhrberg, A. H. (2016a). 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>

Dyhrberg, A. H. (2016b). Hedging capabilities of bitcoin. Is it the virtual gold? *Finance Research Letters*, 16, 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2015.10.025>

Eleuch, M., Souissi, N., & Mroua, M. (2025). *Does the crisis period affect the properties of various financial assets: Evidence from G7, BRIC and GCC countries*. *Research in International Business and Finance*, 65, 102219. <https://doi.org/10.1080/23311975.2025.2451132>

Ergül, Ö., & Karakaş, T. (2024). Analysis of the relationship of gold prices with inflation and bitcoin in the post-tapering period. *Borsa Istanbul Review*, 24(4), 797–805. <https://doi.org/10.1016/j.bir.2024.04.009>

Fratrič, P., Sileno, G., Klous, S., & van Engers, T. (2022). Manipulation of the Bitcoin market: an agent-based study. *Financial Innovation*, 8(1), 60. <https://doi.org/10.1186/s40854-022-00364-3>

Gandal, N., & Halaburda, H. (2016). Can we predict the winner in a market with network effects? Competition in cryptocurrency market. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2832836>

Gomis-Porqueras, P., Shi, S., & Tan, D. (2022). Gold as a financial instrument. *Journal of Commodity Markets*, 27(100218), 100218. <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2021.100218>

Hasan, M. B., Hassan, M. K., Rashid, M. M., & Alhenawi, Y. (2021). Are safe haven assets really safe during the 2008 global financial crisis and COVID-19 pandemic? *Global Finance Journal*, 50(100668), 100668. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2021.100668>

Hillier, D., Draper, P., & Faff, R. (2006). Do precious metals shine? An investment perspective. *Financial Analysts Journal*, 62(2), 98–106. <https://doi.org/10.2469/faj.v62.n2.4085>

Hussain Shahzad, S. J., Bouri, E., Roubaud, D., & Kristoufek, L. (2020). Safe haven, hedge and diversification for G7 stock markets: Gold versus bitcoin. *Economic Modelling*, 87, 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.07.023>

Janson, N., & Karoubi, B. (2021). The Bitcoin: to be or not to be a Real Currency? *The Quarterly Review of Economics and Finance: Journal of the Midwest Economics Association*, 82, 312–319. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2021.09.005>

Jermann, U. J. (2025). Gold's value as an investment. *The Review of Financial Studies*, 38(2), 422–456. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhae076>

John, K., & Li, J. (2025). Bitcoin price volatility: Effects of retail traders, illegal users, and sentiment. *Journal of Corporate Finance*, 94(102837), 102837. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2025.102837>

Kang, D., Ryu, D., & Webb, R. I. (2025). Bitcoin as a financial asset: a survey. *Financial Innovation*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-025-00773-0>

Kinateder, H., Gurrib, I., & Choudhury, T. (2024). Navigating crises: Gold's role as a safe haven for U.S. sectors. *Finance Research Letters*, 69(106210), 106210. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106210>

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>

Lawrence, C. (2003). *Why is gold different from other assets? An empirical investigation*. https://www.streettracksgoldshares.com/pdf/colin_lawrence_report.pdf

Li, Y., & Umair, M. (2023). The protective nature of gold during times of oil price volatility: An analysis of the COVID-19 pandemic. *The Extractive Industries and Society*, 15(101284), 101284. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101284>

Liang, J., & Ullah, I. (2024). Analysis of crude oil and gold price volatility and their correlation during socio-economic crises. *Resources Policy*, 98(105311), 105311. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105311>

Lin, C.-Y., Liao, H.-K., & Tsai, F.-C. (2022). A systematic review of detecting illicit bitcoin transactions. *Procedia Computer Science*, 207, 3217–3225. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.379>

Meiklejohn, S., Pomarole, M., Jordan, G., Levchenko, K., McCoy, D., Voelker, G. M., & Savage, S. (2013). A fistful of bitcoins: Characterizing payments among men with no names. *Proceedings of the 2013 Conference on Internet Measurement Conference*.

Mo, B., Chen, J., Shi, Q., & Zeng, Z. (2025). Cryptocurrencies as safe havens for geopolitical risk? A quantile analysis approach. *The North American Journal of Economics and Finance*, 79(102439), 102439. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2025.102439>

Pastén-Henríquez, B., Tapia-Griñen, P., & Sepúlveda-Velásquez, J. (2025). Gold and cryptocurrencies as safe-havens: Lessons from wartime. *Finance Research Letters*, 79(107230), 107230. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.107230>

Quais são os riscos de investir em ouro? (2025, April 3). GOLDMARKET. <https://www.goldmarket.fr/pt/Quais-s%C3%A3o-os-riscos-de-investir-em-ouro/>

O'Connor, F. A., Lucey, B. M., Batten, J. A., & Baur, D. G. (2015). The financial economics of gold — A survey. *International Review of Financial Analysis*, 41, 186–205. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2015.07.005>

Ryan, M., Corbet, S., & Oxley, L. (2024). Is gold always a safe haven? *Finance Research Letters*, 64(105438), 105438. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105438>

Terraza, V., İpek, A. B., & Rounaghi, M. M. (2024). *The nexus between the volatility of Bitcoin, gold, and American stock markets during the COVID-19 pandemic: Evidence from VAR-DCC-EGARCH and ANN models*. *Financial Innovation*, 10(1) <https://www.proquest.com/scholarly-journals/nexus-between-volatility-bitcoin-gold-american/docview/2914341088/se-2?accountid=190781>

Ustaoglu, E. (2023). *Diversification, hedge, and safe-haven properties of gold and bitcoin with portfolio implications during the Russia–Ukraine war*. *Resources Policy*, 84, 103791. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103791>

Wen, F., Tong, X., & Ren, X. (2022). Gold or Bitcoin, which is the safe haven during the COVID-19 pandemic? *International Review of Financial Analysis*, 81(102121), 102121. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102121>

World Gold Council (2021) Gold and cryptocurrencies. Disponível em: Gold and Cryptos – the Differences Explained | World Gold Council

Zeinedini, S., Karimi, M. S., Khanzadi, A., & Falahati, A. (2024). Impact of oil and gold prices on Bitcoin price during Russia-Ukraine and Israel-Gaza wars. *Resources Policy*, 99(105405), 105405. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105405>

Zhang, X., Chen, Z., & Wang, S. (2024). A study of the impact of cryptocurrency price volatility on the stock and gold markets. *Finance Research Letters*, 69(106114), 106114. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.106114>

Zhu, J., Han, W., & Zhang, J. (2023). Does climate risk matter for gold price volatility? *Finance Research Letters*, 58(104544), 104544. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104544>

7. Anexos:

7.1. Resultados Modelo GARCH(1,1)

Dependent Variable: R_GOLD				
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)				
Date: 09/04/25 Time: 19:35				
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024				
Included observations: 2716 after adjustments				
Convergence achieved after 28 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)				
GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000141	0.000157	0.899043	0.3686
Variance Equation				
C	1.54E-06	3.55E-07	4.328673	0.0000
RESID(-1)^2	0.041555	0.004749	8.750455	0.0000
GARCH(-1)	0.939674	0.007813	120.2739	0.0000
R-squared	-0.000244	Mean dependent var		0.000280
Adjusted R-squared	-0.000244	S.D. dependent var		0.008946
S.E. of regression	0.008947	Akaike info criterion		-6.657430
Sum squared resid	0.217320	Schwarz criterion		-6.648730
Log likelihood	9044.790	Hannan-Quinn criter.		-6.654285
Durbin-Watson stat	2.008055			

Dependent Variable: R_BITCOIN				
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)				
Date: 09/04/25 Time: 19:34				
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024				
Included observations: 2716 after adjustments				
Convergence achieved after 22 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)				
GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.002173	0.000741	2.933695	0.0033
Variance Equation				
C	0.000141	8.38E-06	16.76866	0.0000
RESID(-1)^2	0.187980	0.007479	25.13414	0.0000
GARCH(-1)	0.770322	0.008078	95.36317	0.0000
R-squared	-0.000062	Mean dependent var		0.001728
Adjusted R-squared	-0.000062	S.D. dependent var		0.056717
S.E. of regression	0.056719	Akaike info criterion		-3.475187
Sum squared resid	8.734281	Schwarz criterion		-3.466487
Log likelihood	4723.303	Hannan-Quinn criter.		-3.472042
Durbin-Watson stat	2.095579			

Dependent Variable: R_FTSE_100
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 09/04/25 Time: 19:38
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
Included observations: 2716 after adjustments
Convergence achieved after 19 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000258	0.000151	1.704185	0.0883
Variance Equation				
C	5.14E-06	6.23E-07	8.242358	0.0000
RESID(-1)^2	0.146238	0.012338	11.85309	0.0000
GARCH(-1)	0.794394	0.016440	48.32031	0.0000
R-squared	-0.000358	Mean dependent var	7.22E-05	
Adjusted R-squared	-0.000358	S.D. dependent var	0.009815	
S.E. of regression	0.009817	Akaike info criterion	-6.729444	
Sum squared resid	0.261643	Schwarz criterion	-6.720745	
Log likelihood	9142.585	Hannan-Quinn criter.	-6.726299	
Durbin-Watson stat	2.018896			

Dependent Variable: R_EURO_STOXX_50
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 09/04/25 Time: 19:36
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
Included observations: 2716 after adjustments
Convergence achieved after 23 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000558	0.000183	3.044556	0.0023
Variance Equation				
C	6.19E-06	6.82E-07	9.075814	0.0000
RESID(-1)^2	0.136340	0.011163	12.21301	0.0000
GARCH(-1)	0.822524	0.013560	60.65980	0.0000
R-squared	-0.001002	Mean dependent var	0.000173	
Adjusted R-squared	-0.001002	S.D. dependent var	0.012152	
S.E. of regression	0.012158	Akaike info criterion	-6.252840	
Sum squared resid	0.401337	Schwarz criterion	-6.244141	
Log likelihood	8495.357	Hannan-Quinn criter.	-6.249695	
Durbin-Watson stat	2.031047			

Dependent Variable: R_S_P_500
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 09/04/25 Time: 19:41
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
Included observations: 2716 after adjustments
Convergence achieved after 20 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000787	0.000140	5.639717	0.0000
Variance Equation				
C	4.22E-06	4.10E-07	10.30545	0.0000
RESID(-1)^2	0.191641	0.014739	13.00265	0.0000
GARCH(-1)	0.774174	0.015498	49.95183	0.0000
R-squared	-0.001046	Mean dependent var		0.000429
Adjusted R-squared	-0.001046	S.D. dependent var		0.011053
S.E. of regression	0.011059	Akaike info criterion		-6.670066
Sum squared resid	0.332055	Schwarz criterion		-6.661367
Log likelihood	9061.950	Hannan-Quinn criter.		-6.666921
Durbin-Watson stat	2.257281			

7.2. Resultados modelo E-GARCH

Dependent Variable: R_BITCOIN
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 09/04/25 Time: 20:03
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
Included observations: 2716 after adjustments
Convergence achieved after 35 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 $\text{LOG}(\text{GARCH}) = \text{C}(2) + \text{C}(3) * \text{ABS}(\text{RESID}(-1) / \text{SQRT}(\text{GARCH}(-1))) + \text{C}(4) * \text{RESID}(-1) / \text{SQRT}(\text{GARCH}(-1)) + \text{C}(5) * \text{LOG}(\text{GARCH}(-1))$

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.001335	0.000683	1.953300	0.0508
Variance Equation				
C(2)	-0.832679	0.036727	-22.67182	0.0000
C(3)	0.364118	0.013590	26.79364	0.0000
C(4)	-0.082419	0.007319	-11.26028	0.0000
C(5)	0.906765	0.004738	191.3925	0.0000
R-squared	-0.000048	Mean dependent var		0.001728
Adjusted R-squared	-0.000048	S.D. dependent var		0.056717
S.E. of regression	0.056719	Akaike info criterion		-3.483173
Sum squared resid	8.734163	Schwarz criterion		-3.472299
Log likelihood	4735.149	Hannan-Quinn criter.		-3.479242
Durbin-Watson stat	2.095608			

Dependent Variable: R_GOLD
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 09/04/25 Time: 21:02
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
Included observations: 2716 after adjustments
Convergence achieved after 74 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 $\text{LOG}(\text{GARCH}) = \text{C}(2) + \text{C}(3) * \text{ABS}(\text{RESID}(-1) / @\text{SQRT}(\text{GARCH}(-1))) + \text{C}(4) * \text{RESID}(-1) / @\text{SQRT}(\text{GARCH}(-1)) + \text{C}(5) * \text{LOG}(\text{GARCH}(-1))$

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000252	0.000155	1.632100	0.1027
Variance Equation				
C(2)	-0.313943	0.055363	-5.670625	0.0000
C(3)	0.101171	0.010713	9.444005	0.0000
C(4)	0.030390	0.006499	4.675905	0.0000
C(5)	0.974916	0.005351	182.2029	0.0000
R-squared	-0.000010	Mean dependent var		0.000280
Adjusted R-squared	-0.000010	S.D. dependent var		0.008946
S.E. of regression	0.008946	Akaike info criterion		-6.661390
Sum squared resid	0.217269	Schwarz criterion		-6.650516
Log likelihood	9051.168	Hannan-Quinn criter.		-6.657459
Durbin-Watson stat	2.008526			

Dependent Variable: R_EURO_STOXX_50
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 09/04/25 Time: 21:21
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
Included observations: 2716 after adjustments
Convergence achieved after 46 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 $\text{LOG}(\text{GARCH}) = \text{C}(2) + \text{C}(3) * \text{ABS}(\text{RESID}(-1) / @\text{SQRT}(\text{GARCH}(-1))) + \text{C}(4) * \text{RESID}(-1) / @\text{SQRT}(\text{GARCH}(-1)) + \text{C}(5) * \text{LOG}(\text{GARCH}(-1))$

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	6.67E-05	0.000181	0.368991	0.7121
Variance Equation				
C(2)	-0.426818	0.036618	-11.65610	0.0000
C(3)	0.132979	0.012784	10.40187	0.0000
C(4)	-0.153435	0.008846	-17.34469	0.0000
C(5)	0.964168	0.003283	293.6460	0.0000
R-squared	-0.000077	Mean dependent var		0.000173
Adjusted R-squared	-0.000077	S.D. dependent var		0.012152
S.E. of regression	0.012153	Akaike info criterion		-6.301712
Sum squared resid	0.400966	Schwarz criterion		-6.290838
Log likelihood	8562.725	Hannan-Quinn criter.		-6.297781
Durbin-Watson stat	2.032926			

Dependent Variable: R_S_P_500
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 09/04/25 Time: 21:22
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
Included observations: 2716 after adjustments
Convergence achieved after 40 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 $\text{LOG}(\text{GARCH}) = \text{C}(2) + \text{C}(3) * \text{ABS}(\text{RESID}(-1) / \sqrt{\text{GARCH}(-1)}) + \text{C}(4) * \text{RESID}(-1) / \sqrt{\text{GARCH}(-1)} + \text{C}(5) * \text{LOG}(\text{GARCH}(-1))$

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000372	0.000146	2.549006	0.0108
Variance Equation				
C(2)	-0.731418	0.057375	-12.74797	0.0000
C(3)	0.258676	0.017148	15.08454	0.0000
C(4)	-0.158877	0.010238	-15.51874	0.0000
C(5)	0.943697	0.005062	186.4126	0.0000
R-squared	-0.000027	Mean dependent var		0.000429
Adjusted R-squared	-0.000027	S.D. dependent var		0.011053
S.E. of regression	0.011053	Akaike info criterion		-6.702981
Sum squared resid	0.331717	Schwarz criterion		-6.692107
Log likelihood	9107.648	Hannan-Quinn criter.		-6.699050
Durbin-Watson stat	2.259581			

7.3. Resultados das estatísticas das séries de rendibilidades

Date: 09/04/25 Time: 19:21
Sample: 1/02/2014 12/31/2024

	R_BITCOIN	R_EURO_S	R_FTSE_100	R_GOLD	R_S_P_500
Mean	0.001728	0.000173	7.22E-05	0.000280	0.000429
Median	0.001204	0.000547	0.000588	0.000335	0.000687
Maximum	1.474180	0.088343	0.086668	0.046928	0.089671
Minimum	-0.848829	-0.132405	-0.115124	-0.058975	-0.127657
Std. Dev.	0.056717	0.012152	0.009815	0.008946	0.011053
Skewness	4.876411	-0.796661	-0.866887	-0.171749	-0.801432
Kurtosis	193.2277	13.32601	16.04989	5.732559	18.94516
Jarque-Bera Probability	4105880.	12353.85	19612.42	858.3544	29063.17
	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sum	4.693007	0.470022	0.196061	0.761776	1.166426
Sum Sq. Dev.	8.733744	0.400935	0.261550	0.217267	0.331708
Observations	2716	2716	2716	2716	2716

7.4. Resultados do teste ADF

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on R_BITCOIN

Null Hypothesis: R_BITCOIN has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 3 (Automatic - based on SIC, maxlag=27)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-26.84245	0.0000
Test critical values:	1% level		-3.432569	
	5% level		-2.862406	
	10% level		-2.567276	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(R_BITCOIN)				
Method: Least Squares				
Date: 09/04/25 Time: 19:26				
Sample (adjusted): 1/09/2014 12/31/2024				
Included observations: 2712 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
R_BITCOIN(-1)	-0.985579	0.036717	-26.84245	0.0000
D(R_BITCOIN(-1))	-0.052102	0.032851	-1.585994	0.1129
D(R_BITCOIN(-2))	0.053898	0.027537	1.957287	0.0504
D(R_BITCOIN(-3))	0.131649	0.019012	6.924428	0.0000
C	0.001678	0.001071	1.566375	0.1174
R-squared	0.538231	Mean dependent var		-2.08E-05
Adjusted R-squared	0.537548	S.D. dependent var		0.081877
S.E. of regression	0.055679	Akaike info criterion		-2.936569
Sum squared resid	8.392250	Schwarz criterion		-2.925681
Log likelihood	3986.987	Hannan-Quinn criter.		-2.932632
F-statistic	788.8081	Durbin-Watson stat		2.005482
Prob(F-statistic)	0.000000			

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on R_GOLD

Null Hypothesis: R_GOLD has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=27)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-52.32991	0.0001
Test critical values:	1% level		-3.432567	
	5% level		-2.862405	
	10% level		-2.567275	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(R_GOLD)				
Method: Least Squares				
Date: 09/04/25 Time: 19:31				
Sample (adjusted): 1/06/2014 12/31/2024				
Included observations: 2715 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
R_GOLD(-1)	-1.004574	0.019197	-52.32991	0.0000
C	0.000278	0.000172	1.620328	0.1053
R-squared	0.502331	Mean dependent var		-8.95E-07
Adjusted R-squared	0.502148	S.D. dependent var		0.012680
S.E. of regression	0.008947	Akaike info criterion		-6.594235
Sum squared resid	0.217178	Schwarz criterion		-6.589884
Log likelihood	8953.674	Hannan-Quinn criter.		-6.592662
F-statistic	2738.419	Durbin-Watson stat		2.000121
Prob(F-statistic)	0.000000			

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on R_S_P_500

Null Hypothesis: R_S_P_500 has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 8 (Automatic - based on SIC, maxlag=27)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-16.89860	0.0000
Test critical values:				
	1% level		-3.432574	
	5% level		-2.862408	
	10% level		-2.567277	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(R_S_P_500)				
Method: Least Squares				
Date: 09/04/25 Time: 19:31				
Sample (adjusted): 1/16/2014 12/31/2024				
Included observations: 2707 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
R_S_P_500(-1)	-1.053828	0.062362	-16.89860	0.0000
D(R_S_P_500(-1))	-0.034197	0.058318	-0.586393	0.5577
D(R_S_P_500(-2))	0.007887	0.054568	0.144540	0.8851
D(R_S_P_500(-3))	0.014941	0.049792	0.300069	0.7641
D(R_S_P_500(-4))	-0.037357	0.045296	-0.824738	0.4096
D(R_S_P_500(-5))	-0.020428	0.040151	-0.508791	0.6109
D(R_S_P_500(-6))	-0.104092	0.034834	-2.988217	0.0028
D(R_S_P_500(-7))	-0.013526	0.028479	-0.474944	0.6349
D(R_S_P_500(-8))	-0.094412	0.019209	-4.914977	0.0000
C	0.000450	0.000208	2.162554	0.0307
R-squared	0.584668	Mean dependent var		-3.49E-06
Adjusted R-squared	0.583282	S.D. dependent var		0.016633
S.E. of regression	0.010737	Akaike info criterion		-6.226542
Sum squared resid	0.310923	Schwarz criterion		-6.204734
Log likelihood	8437.625	Hannan-Quinn criter.		-6.218657
F-statistic	421.8446	Durbin-Watson stat		1.994508
Prob(F-statistic)	0.000000			

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on R_FTSE_100

Null Hypothesis: R_FTSE_100 has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=27)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-52.60068	0.0001
Test critical values:	1% level		-3.432567	
	5% level		-2.862405	
	10% level		-2.567275	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(R_FTSE_100)				
Method: Least Squares				
Date: 09/04/25 Time: 19:30				
Sample (adjusted): 1/06/2014 12/31/2024				
Included observations: 2715 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
R_FTSE_100(-1)	-1.009893	0.019199	-52.60068	0.0000
C	7.22E-05	0.000188	0.383196	0.7016
R-squared	0.504912	Mean dependent var		1.65E-06
Adjusted R-squared	0.504729	S.D. dependent var		0.013951
S.E. of regression	0.009818	Akaike info criterion		-6.408438
Sum squared resid	0.261521	Schwarz criterion		-6.404087
Log likelihood	8701.455	Hannan-Quinn criter.		-6.406865
F-statistic	2766.832	Durbin-Watson stat		2.000138
Prob(F-statistic)	0.000000			

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on R_EURO_STOXX_50

Null Hypothesis: R_EURO_STOXX_50 has a unit root				
Exogenous: Constant				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=27)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-52.95808	0.0001
Test critical values:				
	1% level		-3.432567	
	5% level		-2.862405	
	10% level		-2.567275	
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Augmented Dickey-Fuller Test Equation				
Dependent Variable: D(R_EURO_STOXX_50)				
Method: Least Squares				
Date: 09/04/25 Time: 19:30				
Sample (adjusted): 1/06/2014 12/31/2024				
Included observations: 2715 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
R_EURO_STOXX_50(-1)	-1.016603	0.019196	-52.95808	0.0000
C	0.000174	0.000233	0.746792	0.4553
R-squared	0.508297	Mean dependent var	2.73E-07	
Adjusted R-squared	0.508116	S.D. dependent var	0.017330	
S.E. of regression	0.012155	Akaike info criterion	-5.981480	
Sum squared resid	0.400804	Schwarz criterion	-5.977129	
Log likelihood	8121.859	Hannan-Quinn criter.	-5.979907	
F-statistic	2804.559	Durbin-Watson stat	1.999032	
Prob(F-statistic)	0.000000			

7.5. Resultados do teste Ljung-Box

Correlogram of Standardized Residuals

Date: 09/07/25 Time: 15:23
 Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
 Included observations: 2716 after adjustments

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
1			0.042	0.042	4.8830	0.027
2			0.041	0.039	9.4603	0.009
3			0.043	0.040	14.549	0.002
4			0.029	0.024	16.791	0.002
5			0.017	0.012	17.621	0.003
6			0.003	-0.002	17.648	0.007
7			0.022	0.019	18.983	0.008
8			0.010	0.006	19.247	0.014
9			0.031	0.028	21.785	0.010
10			0.052	0.047	29.054	0.001
11			0.004	-0.003	29.101	0.002
12			0.018	0.011	29.974	0.003
13			0.015	0.009	30.629	0.004
14			-0.040	-0.046	35.044	0.001
15			-0.008	-0.009	35.226	0.002
16			0.030	0.031	37.635	0.002
17			-0.015	-0.016	38.219	0.002
18			0.040	0.041	42.595	0.001
19			-0.005	-0.011	42.676	0.001
20			0.014	0.008	43.195	0.002
21			-0.005	-0.008	43.261	0.003

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

Correlogram of Standardized Residuals

Date: 09/07/25 Time: 15:37
 Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
 Included observations: 2716 after adjustments

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
1			0.012	0.012	0.3606	0.548
2			-0.013	-0.013	0.8325	0.660
3			0.043	0.043	5.8984	0.117
4			0.022	0.021	7.2160	0.125
5			-0.006	-0.005	7.3002	0.199
6			-0.004	-0.005	7.3474	0.290
7			0.004	0.003	7.4024	0.388
8			-0.006	-0.007	7.5122	0.483
9			-0.028	-0.027	9.6024	0.384
10			-0.001	-0.001	9.6073	0.476
11			-0.020	-0.021	10.711	0.468
12			0.009	0.012	10.920	0.536
13			0.018	0.018	11.775	0.546
14			0.009	0.011	12.019	0.605
15			-0.024	-0.024	13.646	0.553
16			-0.017	-0.018	14.432	0.567
17			-0.012	-0.014	14.825	0.608
18			-0.010	-0.009	15.097	0.655
19			0.006	0.008	15.195	0.710
20			-0.041	-0.041	19.867	0.466
21			0.008	0.011	20.044	0.518

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

Correlogram of Standardized Residuals

Date: 09/07/25 Time: 15:38
 Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
 Included observations: 2716 after adjustments

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
1			0.017	0.017	0.7483	0.387
2			-0.015	-0.015	1.3243	0.516
3			-0.008	-0.007	1.4871	0.685
4			-0.015	-0.015	2.1224	0.713
5			-0.010	-0.010	2.4048	0.791
6			-0.004	-0.004	2.4384	0.875
7			0.008	0.007	2.6027	0.919
8			-0.013	-0.014	3.0667	0.930
9			-0.027	-0.027	5.1233	0.823
10			0.007	0.007	5.2420	0.874
11			-0.006	-0.007	5.3488	0.913
12			-0.041	-0.041	9.8655	0.628
13			-0.011	-0.010	10.172	0.680
14			-0.008	-0.009	10.333	0.737
15			-0.013	-0.014	10.801	0.767
16			-0.024	-0.026	12.427	0.714
17			0.029	0.028	14.802	0.610
18			-0.032	-0.036	17.643	0.479
19			0.035	0.036	20.933	0.341
20			0.023	0.019	22.360	0.321
21			-0.018	-0.020	23.240	0.331

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

Correlogram of Standardized Residuals

Date: 09/07/25 Time: 15:25
 Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024
 Included observations: 2716 after adjustments

	Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
1			-0.007	-0.007	0.1511	0.698
2			0.001	0.001	0.1539	0.926
3			-0.007	-0.007	0.2972	0.961
4			0.000	-0.000	0.2972	0.990
5			-0.021	-0.021	1.4586	0.918
6			0.004	0.004	1.5075	0.959
7			-0.001	-0.001	1.5118	0.982
8			-0.015	-0.016	2.1613	0.976
9			-0.002	-0.002	2.1709	0.988
10			-0.010	-0.010	2.4314	0.992
11			-0.004	-0.004	2.4754	0.996
12			-0.030	-0.030	4.8841	0.962
13			-0.019	-0.020	5.8498	0.951
14			-0.015	-0.015	6.4262	0.955
15			0.010	0.009	6.6831	0.966
16			-0.021	-0.022	7.8889	0.952
17			0.028	0.026	9.9811	0.904
18			-0.010	-0.011	10.283	0.922
19			0.004	0.003	10.322	0.945
20			0.039	0.039	14.559	0.801
21			-0.007	-0.008	14.678	0.839

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

Correlogram of Standardized Residuals

Date: 09/07/25 Time: 15:39						
Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024						
Included observations: 2716 after adjustments						
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*	
		1	-0.021	-0.021	1.1574	0.282
		2	0.001	0.001	1.1599	0.560
		3	-0.010	-0.010	1.4231	0.700
		4	-0.017	-0.018	2.2259	0.694
		5	-0.026	-0.027	4.0818	0.538
		6	-0.020	-0.021	5.1370	0.526
		7	0.018	0.016	5.9734	0.543
		8	-0.022	-0.022	7.2573	0.509
		9	0.009	0.007	7.4977	0.585
		10	-0.003	-0.003	7.5181	0.676
		11	0.000	-0.001	7.5182	0.756
		12	-0.007	-0.007	7.6387	0.813
		13	-0.020	-0.021	8.7607	0.791
		14	-0.023	-0.024	10.166	0.750
		15	-0.028	-0.028	12.250	0.660
		16	-0.012	-0.014	12.614	0.701
		17	0.013	0.011	13.091	0.730
		18	0.032	0.029	15.829	0.604
		19	0.001	-0.001	15.833	0.668
		20	0.019	0.017	16.792	0.666
		21	0.014	0.014	17.342	0.690

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

7.6. Resultados do teste Breusch-Godfrey

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.459925	Prob. F(1,2713)	0.4977	
Obs*R-squared	0.460187	Prob. Chi-Square(1)	0.4975	
Test Equation:				
Dependent Variable: WGT_RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 09/07/25 Time: 15:43				
Sample (adjusted): 1/06/2014 12/31/2024				
Included observations: 2715 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.013327	0.060040	16.87741	0.0000
WGT_RESID^2(-1)	-0.013019	0.019197	-0.678178	0.4977
R-squared	0.000169	Mean dependent var		1.000303
Adjusted R-squared	-0.000199	S.D. dependent var		2.963810
S.E. of regression	2.964105	Akaike info criterion		5.011764
Sum squared resid	23836.20	Schwarz criterion		5.016115
Log likelihood	-6801.469	Hannan-Quinn criter.		5.013337
F-statistic	0.459925	Durbin-Watson stat		1.999823
Prob(F-statistic)	0.497717			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.785444	Prob. F(1,2713)	0.3756	
Obs*R-squared	0.785796	Prob. Chi-Square(1)	0.3754	
Test Equation: Dependent Variable: WGT_RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/07/25 Time: 15:48 Sample (adjusted): 1/06/2014 12/31/2024 Included observations: 2715 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.017909	0.043417	23.44487	0.0000
WGT_RESID^2(-1)	-0.017012	0.019196	-0.886253	0.3756
R-squared	0.000289	Mean dependent var	1.000874	
Adjusted R-squared	-0.000079	S.D. dependent var	2.028423	
S.E. of regression	2.028504	Akaike info criterion	4.253210	
Sum squared resid	11163.52	Schwarz criterion	4.257561	
Log likelihood	-5771.733	Hannan-Quinn criter.	4.254783	
F-statistic	0.785444	Durbin-Watson stat	1.999084	
Prob(F-statistic)	0.375560			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.446634	Prob. F(1,2713)	0.5040	
Obs*R-squared	0.446890	Prob. Chi-Square(1)	0.5038	
Test Equation: Dependent Variable: WGT_RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/07/25 Time: 15:50 Sample (adjusted): 1/06/2014 12/31/2024 Included observations: 2715 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.987096	0.043555	22.66331	0.0000
WGT_RESID^2(-1)	0.012829	0.019197	0.668307	0.5040
R-squared	0.000165	Mean dependent var	0.999920	
Adjusted R-squared	-0.000204	S.D. dependent var	2.037107	
S.E. of regression	2.037314	Akaike info criterion	4.261878	
Sum squared resid	11260.71	Schwarz criterion	4.266229	
Log likelihood	-5783.500	Hannan-Quinn criter.	4.263451	
F-statistic	0.446634	Durbin-Watson stat	1.999289	
Prob(F-statistic)	0.503994			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.720749	Prob. F(1,2713)	0.3960	
Obs*R-squared	0.721089	Prob. Chi-Square(1)	0.3958	
Test Equation: Dependent Variable: WGT_RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/07/25 Time: 15:53 Sample (adjusted): 1/06/2014 12/31/2024 Included observations: 2715 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.016601	0.045422	22.38103	0.0000
WGT_RESID^2(-1)	-0.016297	0.019196	-0.848970	0.3960
R-squared	0.000266	Mean dependent var	1.000299	
Adjusted R-squared	-0.000103	S.D. dependent var	2.144767	
S.E. of regression	2.144878	Akaike info criterion	4.364778	
Sum squared resid	12481.16	Schwarz criterion	4.369130	
Log likelihood	-5923.187	Hannan-Quinn criter.	4.366352	
F-statistic	0.720749	Durbin-Watson stat	2.000351	
Prob(F-statistic)	0.395973			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	0.051275	Prob. F(1,2713)	0.8209	
Obs*R-squared	0.051312	Prob. Chi-Square(1)	0.8208	
Test Equation: Dependent Variable: WGT_RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/07/25 Time: 15:51 Sample (adjusted): 1/06/2014 12/31/2024 Included observations: 2715 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.995839	0.044235	22.51249	0.0000
WGT_RESID^2(-1)	0.004347	0.019198	0.226439	0.8209
R-squared	0.000019	Mean dependent var	1.000187	
Adjusted R-squared	-0.000350	S.D. dependent var	2.076067	
S.E. of regression	2.076430	Akaike info criterion	4.299913	
Sum squared resid	11697.26	Schwarz criterion	4.304264	
Log likelihood	-5835.132	Hannan-Quinn criter.	4.301486	
F-statistic	0.051275	Durbin-Watson stat	2.000005	
Prob(F-statistic)	0.820877			

7.7. Resultados do teste KPSS

KPSS Unit Root Test on R_BITCOIN

Null Hypothesis: R_BITCOIN is stationary				
Exogenous: Constant				
Bandwidth: 19 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel				
				LM-Stat.
Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic				
				0.105028
Asymptotic critical values*:				
1% level				0.739000
5% level				0.463000
10% level				0.347000
*Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992, Table 1)				
Residual variance (no correction)				0.003216
HAC corrected variance (Bartlett kernel)				0.002818
<p>KPSS Test Equation</p> <p>Dependent Variable: R_BITCOIN</p> <p>Method: Least Squares</p> <p>Date: 09/04/25 Time: 21:25</p> <p>Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024</p> <p>Included observations: 2716 after adjustments</p>				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.001728	0.001088	1.587709	0.1125
R-squared	0.000000	Mean dependent var	0.001728	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	0.056717	
S.E. of regression	0.056717	Akaike info criterion	-2.901108	
Sum squared resid	8.733744	Schwarz criterion	-2.898933	
Log likelihood	3940.705	Hannan-Quinn criter.	-2.900322	
Durbin-Watson stat	2.095708			

KPSS Unit Root Test on R_GOLD

Null Hypothesis: R_GOLD is stationary				
Exogenous: Constant				
Bandwidth: 7 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel				
				LM-Stat.
Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic				0.162639
Asymptotic critical values*:				
	1% level			0.739000
	5% level			0.463000
	10% level			0.347000
*Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992, Table 1)				
Residual variance (no correction)				8.00E-05
HAC corrected variance (Bartlett kernel)				7.90E-05
<p>KPSS Test Equation</p> <p>Dependent Variable: R_GOLD</p> <p>Method: Least Squares</p> <p>Date: 09/04/25 Time: 21:31</p> <p>Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024</p> <p>Included observations: 2716 after adjustments</p>				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000280	0.000172	1.633995	0.1024
R-squared	0.000000	Mean dependent var		0.000280
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var		0.008946
S.E. of regression	0.008946	Akaike info criterion		-6.594930
Sum squared resid	0.217267	Schwarz criterion		-6.592755
Log likelihood	8956.915	Hannan-Quinn criter.		-6.594144
Durbin-Watson stat	2.008545			

KPSS Unit Root Test on R_FTSE_100

Null Hypothesis: R_FTSE_100 is stationary				
Exogenous: Constant				
Bandwidth: 8 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel				
				LM-Stat.
Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic				0.030582
Asymptotic critical values*:				
		1% level		0.739000
		5% level		0.463000
		10% level		0.347000
*Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992, Table 1)				
Residual variance (no correction)				9.63E-05
HAC corrected variance (Bartlett kernel)				9.13E-05
<p>KPSS Test Equation</p> <p>Dependent Variable: R_FTSE_100</p> <p>Method: Least Squares</p> <p>Date: 09/04/25 Time: 21:34</p> <p>Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024</p> <p>Included observations: 2716 after adjustments</p>				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7.22E-05	0.000188	0.383297	0.7015
R-squared	0.000000	Mean dependent var		7.22E-05
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var		0.009815
S.E. of regression	0.009815	Akaike info criterion		-6.409433
Sum squared resid	0.261550	Schwarz criterion		-6.407258
Log likelihood	8705.010	Hannan-Quinn criter.		-6.408647
Durbin-Watson stat	2.019619			

KPSS Unit Root Test on R_EURO_STOXX_50

Null Hypothesis: R_EURO_STOXX_50 is stationary				
Exogenous: Constant				
Bandwidth: 9 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel				
	LM-Stat.			
Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic	0.035211			
Asymptotic critical values*:				
1% level	0.739000			
5% level	0.463000			
10% level	0.347000			
*Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992, Table 1)				
Residual variance (no correction)	0.000148			
HAC corrected variance (Bartlett kernel)	0.000146			
<p>KPSS Test Equation</p> <p>Dependent Variable: R_EURO_STOXX_50</p> <p>Method: Least Squares</p> <p>Date: 09/04/25 Time: 21:34</p> <p>Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024</p> <p>Included observations: 2716 after adjustments</p>				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000173	0.000233	0.742167	0.4581
R-squared	0.000000	Mean dependent var	0.000173	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	0.012152	
S.E. of regression	0.012152	Akaike info criterion	-5.982258	
Sum squared resid	0.400935	Schwarz criterion	-5.980083	
Log likelihood	8124.906	Hannan-Quinn criter.	-5.981471	
Durbin-Watson stat	2.033082			

KPSS Unit Root Test on R_S_P_500

Null Hypothesis: R_S_P_500 is stationary				
Exogenous: Constant				
Bandwidth: 28 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel				
				LM-Stat.
Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin test statistic				0.047862
Asymptotic critical values*:				
			1% level	0.739000
			5% level	0.463000
			10% level	0.347000
*Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (1992, Table 1)				
Residual variance (no correction)				0.000122
HAC corrected variance (Bartlett kernel)				9.13E-05
<p>KPSS Test Equation</p> <p>Dependent Variable: R_S_P_500</p> <p>Method: Least Squares</p> <p>Date: 09/04/25 Time: 21:33</p> <p>Sample (adjusted): 1/03/2014 12/31/2024</p> <p>Included observations: 2716 after adjustments</p>				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000429	0.000212	2.024880	0.0430
R-squared	0.000000	Mean dependent var	0.000429	
Adjusted R-squared	0.000000	S.D. dependent var	0.011053	
S.E. of regression	0.011053	Akaike info criterion	-6.171803	
Sum squared resid	0.331708	Schwarz criterion	-6.169628	
Log likelihood	8382.309	Hannan-Quinn criter.	-6.171017	
Durbin-Watson stat	2.259642			

7.8. Resultados do Teste LM-ARCH

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	2.273799	Prob. F(1,2712)	0.1317	
Obs*R-squared	2.273569	Prob. Chi-Square(1)	0.1316	
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/25/25 Time: 19:32 Sample (adjusted): 1/07/2014 12/31/2024 Included observations: 2714 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.003111	0.000847	3.670567	0.0002
RESID^2(-1)	0.028943	0.019194	1.507912	0.1317
R-squared	0.000838	Mean dependent var	0.003204	
Adjusted R-squared	0.000469	S.D. dependent var	0.044043	
S.E. of regression	0.044033	Akaike info criterion	-3.407040	
Sum squared resid	5.258198	Schwarz criterion	-3.402687	
Log likelihood	4625.353	Hannan-Quinn criter.	-3.405466	
F-statistic	2.273799	Durbin-Watson stat	2.007309	
Prob(F-statistic)	0.131694			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	7.193277	Prob. F(1,2712)	0.0074	
Obs*R-squared	7.179539	Prob. Chi-Square(1)	0.0074	
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/25/25 Time: 19:53 Sample (adjusted): 1/07/2014 12/31/2024 Included observations: 2714 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7.59E-05	3.68E-06	20.65223	0.0000
RESID^2(-1)	0.051432	0.019176	2.682028	0.0074
R-squared	0.002645	Mean dependent var	8.00E-05	
Adjusted R-squared	0.002278	S.D. dependent var	0.000174	
S.E. of regression	0.000174	Akaike info criterion	-14.47433	
Sum squared resid	8.21E-05	Schwarz criterion	-14.46997	
Log likelihood	19643.66	Hannan-Quinn criter.	-14.47275	
F-statistic	7.193277	Durbin-Watson stat	2.009479	
Prob(F-statistic)	0.007362			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	23.53669	Prob. F(1,2712)	0.0000	
Obs*R-squared	23.35139	Prob. Chi-Square(1)	0.0000	
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/25/25 Time: 20:00 Sample (adjusted): 1/07/2014 12/31/2024 Included observations: 2714 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000134	1.03E-05	12.99939	0.0000
RESID^2(-1)	0.092758	0.019120	4.851462	0.0000
R-squared	0.008604	Mean dependent var	0.000148	
Adjusted R-squared	0.008238	S.D. dependent var	0.000519	
S.E. of regression	0.000516	Akaike info criterion	-12.29864	
Sum squared resid	0.000723	Schwarz criterion	-12.29428	
Log likelihood	16691.25	Hannan-Quinn criter.	-12.29706	
F-statistic	23.53669	Durbin-Watson stat	2.026084	
Prob(F-statistic)	0.000001			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	78.18384	Prob. F(1,2712)	0.0000	
Obs*R-squared	76.04909	Prob. Chi-Square(1)	0.0000	
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/25/25 Time: 19:57 Sample (adjusted): 1/07/2014 12/31/2024 Included observations: 2714 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	8.02E-05	7.31E-06	10.97181	0.0000
RESID^2(-1)	0.167394	0.018931	8.842163	0.0000
R-squared	0.028021	Mean dependent var	9.64E-05	
Adjusted R-squared	0.027663	S.D. dependent var	0.000374	
S.E. of regression	0.000369	Akaike info criterion	-12.97127	
Sum squared resid	0.000369	Schwarz criterion	-12.96691	
Log likelihood	17604.01	Hannan-Quinn criter.	-12.96969	
F-statistic	78.18384	Durbin-Watson stat	2.039083	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Heteroskedasticity Test: ARCH				
F-statistic	487.5147	Prob. F(1,2712)	0.0000	
Obs*R-squared	413.5361	Prob. Chi-Square(1)	0.0000	
Test Equation: Dependent Variable: RESID^2 Method: Least Squares Date: 09/25/25 Time: 19:58 Sample (adjusted): 1/07/2014 12/31/2024 Included observations: 2714 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7.33E-05	8.71E-06	8.410669	0.0000
RESID^2(-1)	0.390346	0.017679	22.07973	0.0000
R-squared	0.152371	Mean dependent var	0.000120	
Adjusted R-squared	0.152059	S.D. dependent var	0.000478	
S.E. of regression	0.000440	Akaike info criterion	-12.61857	
Sum squared resid	0.000525	Schwarz criterion	-12.61422	
Log likelihood	17125.40	Hannan-Quinn criter.	-12.61699	
F-statistic	487.5147	Durbin-Watson stat	2.329396	
Prob(F-statistic)	0.000000			